

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO SIMÓN BOLIVAR
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**



**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

**DISEÑO DE BIODIGESTOR PARA LA COOPERATIVA "EL POLO" R.L.
UBICADA EN EL MUNICIPIO DE SAN SEBASTIAN DE YALI-JINOTEGA**

AUTORES:

BR. FERNANDA VALERIA MARTINEZ QUANT

BR. JONATHAN ARNALDO ROMERO

TUTOR:

MSC. ING. RAMIRO ARCIA LACAYO

MANAGUA, NICARAGUA JUNIO 2017

Dedicatoria

El presente trabajo monográfico se lo dedicamos a:

A Dios por habernos permitido llegar hasta la culminación de nuestros estudios, siempre dándonos las fuerzas, perseverancia, salud, fortaleza y los recursos que a lo largo de este camino hemos necesitado tanto.

A nuestras madres quienes han sido un pilar en nuestra vida, siempre apoyándonos y creyendo en nosotros. Sus consejos y motivación nos empujaron día con día a seguir adelante. Sin lugar a duda el amor con el que siempre se consagraron a nosotros.

Y a todos los familiares y amigos que nos han apoyado a lo largo de este proyecto y nuestras vidas, y que siempre han creído en nosotros.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios, sin El nada de esto hubiese sido posible, me ha dado la fuerza, perseverancia, dedicación y empeño para poder salir día a día adelante con los resultados que de acuerdo a su voluntad han sido los mejores para mi vida.

A mi bella madre Evelyne Quant Lang que con tanto amor, paciencia, sacrificio y esmero me ha apoyado a lo largo de mi vida y de todos mis proyectos. A ella, sin duda, le debo toda mi vida, mi formación y la seguridad de mi carácter que me han llevado a luchar por todas mis metas.

A todos mis amigos que de una forma u otra ayudaron en mi formación, de manera muy especial a Jessika Montenegro una gran amiga que me ha apoyado en este proyecto y en mi vida incondicionalmente, abriéndome las puertas de su casa y ayudándome de todas las maneras posibles, cabe destacar que gracias a ella pude conseguir todos los contactos necesarios para la recolección de información, así como explicaciones técnicas.

Br. Fernanda V. Martínez Quant.

Agradecimientos

Primero, agradecer a Dios por guiarme en este largo ciclo de estudio, por darme sabiduría, paciencia y siempre el optimismo de seguir hacia adelante hasta lograr el objetivo deseado.

Segundo, agradezco a mi familia en general por haberme brindado el apoyo en todos los aspectos, y agradezco también por haberme cultivado valores para convertirme en un hombre de bien.

Br. Jonathan Arnaldo Romero

Agradecemos en general a la cooperativa El Polo por abrirnos puertas, y brindarnos la información necesaria, al igual a la cooperativa El Gorrión que nos fue de mucha ayuda.

Al Ing. Elmer Castilblanco y Lic. José Martínez quienes son los presidentes de las cooperativas antes mencionadas quienes nos apoyaron con movilización y visitas de campo. Al igual que al técnico Ariel Ochoa que fue de inmensa ayuda compartiendo su conocimiento.

Estamos agradecidos también con el Ing. Gilberto Monterrey que es el encargado del beneficio CISA Carazo, que nos permitió realizar visitas y compartió información de importancia.

Al igual al Ing. Andrés Felipe Montoya Rendón quien es profesor investigador tecnológico de Antioquia que trabaja para la municipalidad y fue de grandísima ayuda. Al Ing. Carlos Bueso de SNV quien nos ayudó en cálculos y formulas.

Agradecemos también a los productores Odell Valenzuela y Larry Zeledón por habernos instruido según su experiencia en el cultivo.

A nuestro tutor Msc. Ing. Ramiro Arcia quien nos guio y proporcionó ideas para la elaboración de este documento investigativo.

Resumen General

En la zona norte del país de Nicaragua caracterizada una zona húmeda con clima agradable, también se caracteriza por ser una zona muy agricultora, ya que se dedican al cultivo de arroz, maíz, tomate, papa, café etc. Son variados los cultivos pero lo que principalmente promueven más son el cultivo de café.

En el municipio de San Sebastián de Yalí, Jinotega el principal cultivo es el café por ser una zona montañosa con un clima fresco en donde las temperaturas oscilan entre 21 y 22 °C clima óptimo, para el cultivo de café. En esta zona hay un sinnúmero de caficultores y medianos productores con un promedio de 20 manzanas a 10 manzanas de hectáreas de café sombra por caficultor.

La cooperativa “El POLO” R.L. se fundó en el 2004 con una trayectoria de 13 años de estar trabajando con pequeños y medianos caficultores, alrededor de 400 caficultores asociados a la cooperativa. El beneficiado húmedo es una planta despulpadora que procesa el café pergamino que los caficultores llevan todos días en la época de maduración del café para hacer procesado y comercializado al mercado.

La planta despulpadora al procesar el café pergamino, deja residuos de café que si no son tratados correctamente podrían ser dañinos para el medio ambiente y causar un impacto negativo a la comunidad que habita el municipio entre la mayor contaminación seria en los ríos cercanos a la comunidad contaminando el agua. Los residuos encontrados en el café son pulpa de café y aguas mieles.

Por otro lado las aguas mieles son tratadas en la planta de beneficiado húmedo pasando por un proceso de filtración que salen totalmente descontaminada, hacia las vertientes de aguas sin causar ningún daño. La pulpa de café en los últimos años ha sido almacenada en lo cual eso genera malos olores y creación de moscas por lo cual no es bueno para salud humana este tipo de fenómenos que presenta.

En este presente documento investigativo se presentara la cantidad de residuos de pulpa de café que genera el beneficiado húmedo “El POLO” R.L. también se realizó un cálculo teórico de potencial de biogás que puede generar la pulpa de café. Finalmente se realizó el diseño de un biodigestor con el fin de crear beneficios económicos y ambientales a la cooperativa y a los caficultores. También se implementara un filtro de purificación de biogás con el fin de alimentar directamente solo de biogás el generador eléctrico de planta de despulpadora.

Palabras clave: **pulpa de café, biogás y biol**

INDICE

Introducción.....	1
Antecedentes.....	2
Justificación	4
Objetivos	5
Objetivo General	5
Objetivos Específicos	5
Marco Teórico.....	6
Biodigestor	6
Tipos de biodigestores.....	6
Continuos:	6
Semi continuos:	6
Discontinuos o régimen estacionario	6
Modelo chino (Domo fijo)	7
Modelo hindú (Domo Flotante).....	8
Biodigestor horizontales.....	9
Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario).	9
Consideraciones a tomar en el manejo del biodigestor	10
Descripción del proceso de digestión	10
Digestión aeróbica	11
Digestión anaeróbica	11
Definición de Biogás.....	13
¿Qué es biogás?	13
¿Cómo aprovechar el biogás?	13
Sustratos Para la Producción del Biogás.....	15
Residuos Rurales.	15
Residuos Urbanos	15
Residuos Industriales.....	15
Generalidades del café	16
Arbusto del café.....	16
Fruto del café.....	16
Beneficios	16
Deshechos del procesado húmedo de café	19

Capítulo #1	20
Cooperativa “El Polo” R.L.....	20
Método de estimación del potencial de biogás	23
Determinación de la producción de biogás.....	24
Determinación total de potencial de biogás la cooperativa “El Polo” R.L	25
<i>Carga orgánica</i>	25
<i>Potencial de biogás</i>	25
<i>Energía térmica</i>	25
<i>Potencia Térmica</i>	25
<i>Potencia eléctrica</i>	25
Principales parámetros asociados a los procesos de beneficiado del café:	26
Potencial de hidrogeno (PH):	26
Solidos sedimentales	26
Demanda química de oxígeno (DQO):	26
Demanda biológica de oxígeno (DBO):.....	26
Pulpa de café	27
Caficultura en Nicaragua	28
Las exportaciones de café en Nicaragua.....	29
Capítulo #2	31
Impacto ambiental y Diseño de biodigestor	31
Distintos usos de la Pulpa de Café.....	33
Los beneficios de la pulpa del café en los suelos son:	34
Usos de las aguas mieles.....	34
Capacitación de Cooperativa "El Polo" R.L como compromiso con el Medio Ambiente	34
Filtración de Agua mieles en el beneficio "El Polo" R.L	35
Importancia de los Biodigestores.....	37
El impacto ambiental por la utilización de biodigestores	37
Ventajas del Uso de Biodigestores	38
Dificultades técnicas de los Biodigestores	38
Parámetros para el diseño del biodigestor	38
Información del Municipio.....	39
Ubicación del beneficio húmedo de la cooperativa "El Polo" R.L.....	40
Maquinaria y proceso de beneficiado	41
Maquinaria.....	41
Proceso de beneficiado	43

Selección y Diseño del Biodigestor	44
Factores Utilitarios	44
Calculo del Biodigestor.....	44
Tiempo de Retención.....	45
Volumen del Digestor.....	45
Producción de biogás	45
Determinación Kilowatts-hora.....	47
Plano del biodigestor tipo Domo Flotante	48
Capítulo #3	49
Cultivo de café y aplicación de fertilizantes químicos	49
Comparación del biol versus el fertilizante químico	50
Consumo de combustible del generador eléctrico	50
Generador CAT DE50E0	50
Beneficios	51
¿Cómo se produce el biol?.....	51
Proceso de digestión para obtener el biol	52
Condiciones para obtener el biol.....	52
Principales funciones del biol.....	52
Composición del Biol	53
Usos del Biol.....	53
Beneficios sociales y ambientales del Biol	53
Aplicaciones del biol en los cultivos	54
Producción de biol según el tamaño del biodigestor	54
Biosol	56
Ventajas del uso del biosol	57
El biol Nicaragüense	58
Unidad Generadora de energía eléctrica por medio de biogás y diésel.....	58
Generadores a diésel	58
Generadores a Diesel.....	59
Generador CAT DE50E0.....	60
Análisis Económico	61
Consumo de diésel mezclado con biogás para el generador eléctrico.....	62
Generador CAT DE50E0	62
Adaptación de filtro para la purificación del biogás.....	63
Alternativa 1	63

Alternativa 2.....	64
Consumo de biogás por el Generador CAT DE50E0.....	65
Estudio De Recuperación De Inversión Del Proyecto.....	66
El Valor Presente Neto (VPN).....	66
La Tasa Interna de Retorno (TIR)	66
Conclusiones.....	68
Bibliografía.....	69
Anexos	71

Índice de figuras

Figura 1. Biodigestor tipo chino.....	7
Figura 2. Biodigestor tipo hindú	8
<i>Figura 3. Biodigestor tipo Horizontal</i>	<i>9</i>
Figura 4. Biodigestor tipo Batch	10
Figura 5. Fruto entero del café	16
Figura 6. Producción de café a nivel centroamericano.....	29
Figura 7. Mercado de Exportaciones de Nicaragua.	30
Figura 8. Volumen generado de pulpa, aguas mieles y contaminación en equivalencia poblacional.	33
Figura 9. Tanques de filtración de agua miel.	36
Figura 10. Pila de agua mieles.....	36
Figura 11. Mapa San Sebastián de Yali.....	39
Figura 12. Mapa de Ubicación del Beneficio Húmedo El Polo R.L.	40
Figura 13. Ubicación del Beneficio Húmedo.	41
Figura 14. Plano del Biodigestor tipo Domo Flotante.	48
Figura 15. Modificación para generador diésel.....	59
Figura 16. Generador CAT DE50E0 del beneficiado húmedo “EL POLO”R.L	61
Figura 17. Aplicación de Limaduras de Hierro.....	63
Figura 18. Hi-Tech purificador de Biogas.	64
Figura 19. Vista de Beneficio Húmedo El Polo.....	71
Figura 20. Maquinas Despulpadoras del Beneficio.	71
Figura 21. Maquinas Despulpadoras.	71
Figura 22. Criba.....	72
Figura 23. Canales de transporte de café.	72
Figura 24. Pilas de Fermentación de Café.....	72
Figura 25. Almacén de pulpa de café, cosecha Nov-Ene.....	73
Figura 26. Colochos Transportadores de Pulpa.....	73
Figura 27. Pilas Almacenadora de Aguas Mieles.....	73
Figura 28. Bomba Sumergible.	74
Figura 29. Planta Generadora del Beneficio El Polo.	74
Figura 30. Tanques de Filtración de Agua.	74
Figura 31. Área de Lavado.....	75
Figura 32. Biodigestor de Finca Veracruz.	75
Figura 33. Biodigestor de Finca El Volcán.	75
Figura 34. Tanque de Agua Miel, Finca El Volcán.	76
Figura 35. Beneficio Cisa Carazo.....	76
Figura 36. Maquinas despulpadoras y Criba, Beneficio CISA Carazo.....	76
Figura 37. Planta generadora que trabaja a base de diésel-biogas, CISA Carazo.	77
Figura 38. Vista de Reactores, CISA Carazo.	77
Figura 39. Pilas de Fermentación, CISA Carazo.....	78
Figura 40. Pilas de Fermentación, CISA Carazo.....	78
Figura 41. Motor 7 1/2 HP para maquinas despulpadoras	79
Figura 42. Motor 2 HP para colochos.....	79
Figura 43. Motor 1 HP para criba.....	79
Figura 44. Motor 1 1/2 HP para lavado de café.....	80
Figura 45. Bomba sumergible 3HP	80

Indice de Tablas

Tabla 1. Composición química del biogás.....	14
Tabla 2. Composición química de la pulpa de café seca.....	21
Tabla 3. Producción de café despulpado en los meses de cosecha (Dic-Feb).....	22
Tabla 4. Producción de pulpa de café.....	24
Tabla 5. Producción de biogás por día de jornada de despulpado de pulpa.	24
Tabla 6. Utilización y consumo de biogás.	26
Tabla 7. Comparación de DQO del efluente de la agroindustria con otros.	27
Tabla 8. Valores máximos permisibles de contaminantes.....	32
<i>Tabla 9. Descripción de maquinaria de la planta despulpadora.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 10. Descripción de bomba sumergible.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 11. Descripción de los contactores.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 12. Descripción de guardamotores.....</i>	<i>42</i>
Tabla 13. Gastos de Fertilizantes foliares.	49
Tabla 14. Gastos de fertilizantes granular.....	50
Tabla 15. Comparación de biol vs fertilizantes químicos.....	50
Tabla 16. Aporte de nutrientes del Biol y su Ph.....	53
Tabla 17. Aplicaciones del biol en cultivos.....	54
Tabla 18. Producción de biol.....	54
Tabla 19. Nutrientes aportados por Biol.....	55
Tabla 20. Característica generales del biosol fresco (fertilizante solido).	56
Tabla 21. Composición de nutrientes del estiércol de vaca comparado con la mezcla de Biol + Biosol de fermentación del estiércol de vaca y de la fermentación del estiércol de vaca y de la fermentación de estiércol y residuos vegetales (% en peso de materia seca)	57
Tabla 22. Ahorro de capital utilizando biogás.....	62
Tabla 23. Datos técnicos.	64
Tabla 24. Costo total de inversiones e ingresos del proyecto.....	66
Tabla 25. Recuperación de inversión del proyecto.....	67

Indice de Esquemas

Esquema 1. Hidrolisis Anaeróbica.....	12
Esquema 2. Procesado de la obtención del café	18
Esquema 3. Desechos y beneficios del fruto del café	19
Esquema 4. Proceso de digestión para la obtención de biol.	52

Abreviaturas

Nm ³	METROS CÚBICOS NORMALES
MJ	JOULE
MWt	MEGA WATTS TÉRMICOS
MWe	MEGA WATTS ELÉCTRICOS
PH	POTENCIAL DE HIDROGENO
TR	TIEMPO DE RETENCIÓN
H ₂ S	ÁCIDO SULFHÍDRICO
CO ₂	DIÓXIDO DE CARBONO
CH ₄	METANO
DQO	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO
DBO	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGENO
Vd	VOLUMEN DEL DIGESTOR
PG	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
N	NITRÓGENO
P	FOSFORO
K	POTASIO
CaO	CALCIO
MgO	MAGNESIO
Na	SODIO
B	BORO
S	AZUFRE
VPN	VALOR PRESENTE NETO
TIR	TASA INTERNA DE RETORNO
VP	VALOR PRESENTE
TIRM	TAS INTERNA DE RETORNO MODIFICADO
PB	ACUMULACION SIN TASA DE OPORTUNIDAD
DPB	ACUMULACION CON LA TASA DE OPORTUNIDAD
RI	TASA DE REINVERSION

Introducción

El desarrollo de la sociedad humana, se ha basado en el aprovechamiento de fuentes energéticas primarias del tipo fósil: carbón, petróleo y gas natural. Su uso indiscriminado ha generado un deterioro ambiental en todos los ámbitos, que puede llegar a niveles críticos, si no se toman correctivos oportunos. Evidencias palpables de la degradación del ecosistema mundial son: el calentamiento global, la disminución de la capa de ozono y las lluvia ácidas, por lo que la necesidad de desarrollar otras fuentes energéticas que sustituyan a las convencionales, es cada vez más apremiante. En la sociedad moderna, disponer de grandes cantidades de energía a bajo precio ha sido una condición necesaria para acceder a un cierto nivel de calidad de vida.

El uso de la biomasa aporta beneficios que son no sólo energéticos, sino que su transformación se convierte en beneficiosa y necesaria para el entorno. Es un sistema idóneo de eliminación de residuos, con la subsiguiente mejora del ambiente rural, urbano e industrial. Puede ser además, un modo de equilibrar determinados excedentes agrícolas. En el sector agropecuario y específicamente en los residuos orgánicos opción del uso del biofertilizantes generado por esta tecnología permite responder a una demanda de la sociedad, de esta forma se es más respetuoso del medio ambiente, y en particular se promueve la reducción de posibles fuentes de contaminación.

Por estas razones el presente trabajo monográfico se planteará el diseño de un biodigestor que trabaje a base de residuos del café, en el beneficio húmedo de la cooperativa El Polo R.L. ubicado en el municipio de **San Sebastián de Yali, Jinotega**. El Polo es una sociedad cooperativa, creada bajo la forma de cooperativa de servicios múltiples que agrupa como socios a productores agropecuarios, principalmente del rubro CAFÉ. Tiene como origen a la cooperativa agropecuaria de servicios “Yali” R.L. formada el 12 de Marzo de 1996.

El estudio se basara en la recopilación de información para el diseño de biodigestores aprovechando la producción de café recibida en el beneficio de dicha cooperativa con el fin de diseñar un biodigestor a base de pulpa de café para aliviar el gasto económico que se incurre en la utilización de motores despulpadores, así mismo el diseño de dicho biodigestor ayudara a la cooperativa a cumplir los requisitos ambientales y sociales que solicita la certificación “Comercio Justo”.

De otra manera al diseñar un biodigestor, a la cooperativa al “EL Polo” R.L. con los residuos del café lo cual se seria la pulpa de café vendría a obtener beneficios económicos y ambientales. Ya que al ser tratada la pulpa de café para obtención de biogás también se obtendría biol es un valioso abono natural que se podrá aplicar las hectáreas de café cultivando un café más orgánico reduciendo la utilización de fertilizantes químicos.

Antecedentes

La cooperativa de servicios múltiples “El Polo” R.L. agrupa una membrecía total de 370 productores, distribuidos en 17 comunidades de dicho municipio (San Sebastián de Yali). Desde su fundación la cooperativa ha orientado su labor al negocio cafetalero. En su totalidad, la cooperativa abarca una zona cafetalera de aproximadamente 2000 manzanas.

Gracias al apoyo de diversos proyectos no gubernamentales, la cooperativa ha logrado obtener la certificación socio ambiental de “Comercio Justo (Fair Trade)”, el cual le da a la cooperativa las herramientas necesarias para el mejoramiento de la calidad del café producido en las fincas y ofrecido a los compradores.

El comercio justo (Fair Trade) tiene como objetivo garantizar un trato comercial equitativo para los pequeños productores de países en desarrollo. El llamado comercio justo es una nueva forma de intercambio comercial que busca la equidad y la sostenibilidad destacando valores ambientales y sociales.

En otras palabras, uno de los propósitos de la certificación es brindarle un asesoramiento especializado a los productores para que con buenas prácticas agropecuarias cosechen café de calidad para así brindarles un mejor precio de compra a los mismos.

La certificación también valora el buen manejo de los residuos, es por esto el interés y propósito de construir un biodigestor que sea totalmente amigable con el medio ambiente.

En Marzo de 2001 funcionarios de la “Liga de Cooperativas de Estados Unidos” (CLUSA/AID, por sus siglas en ingles), en conjunto con 140 socios de la cooperativa “El Gorrión”, ubicada en el municipio de San Sebastián de Yali, inauguraron un beneficio húmedo ecológico que ocupa los residuos del café para generar biogás.

En la ciudad de Matagalpa, existe un beneficio igualmente ecológico que es propiedad de la asociación de seis cooperativas (dos de San Sebastián de Yali y cuatro de San José de Bocay), este beneficio utiliza de la misma manera los desechos del café para producción de Biogás.

En Mayo 2015 la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), hace registro de un trabajo monográfico que llevaba por nombre Producción de Biogás a Partir de la Pulpa de Café con Prototipo de Generador Eléctrico.

Así mismo, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) tiene registro de otro trabajo monográfico con el título de Estudio Técnico-Económico de la Producción de Biogás a Partir de Biomasa de Cerdos en la “Quinta Campo Amor” Ubicada en la Ciudad de la Paz Centro, departamento de León.

En Noviembre de 2011, la Universidad de Zamorano, Honduras registra una tesis con el nombre de Producción de Biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café.

La empresa SNV empezó su trabajo en Nicaragua en el año 1992 con el objetivo de mejorar oportunidades económicas y la calidad de vida de las personas a través de un enfoque multisectorial. Esta empresa se dedica, entre otras cosas, a valorar las fincas para sacarle el mejor provecho a los desechos sólidos en estas y así proceder con la construcción de biodigestores. Instalan biodigestores a base de excremento de ganado y aguas mieles.

Justificación

La contaminación ambiental se encuentra presente a nivel mundial y sus efectos se hacen sentir notablemente en la sociedad. Abordando el caso específico de las zonas rurales y Cafetaleras que generalmente vierten las aguas mieles y pulpa de café, en las corrientes fluviales adyacentes, con el propósito de deshacerse de las mismas, es necesario destacar qué, este método rudimentario utilizado para eliminar los residuos del café, es altamente contaminante e invasivo, ya que produce daños a la salud de las mismas, debido a que se abastece y consume de las aguas de estos ríos contaminados. Es por esto qué, aquí entra el importante uso de los Biodigestores, que tienen como función primordial la erradicación de la contaminación producida.

Desde el punto vista ambiental se conseguirá dar una adecuada disposición final a los residuos generados durante el proceso tanto orgánicos como vertimientos. De la mano de esto van los beneficios de tipo socio-económico, ya que los residuos resultantes de la fermentación anaeróbica fuera del biogás, serán empleados como biofertilizantes, lo que representa disminución de gastos en disposición y un ingreso adicional ya que estos pueden ser vendidos al sector agrícola.

Además de esto, y de gran importancia, siempre en el ámbito socio-económico, tenemos el hecho que dándole una adecuada utilización al biodigestor en fusión con tecnologías simples podremos autoalimentar energéticamente el beneficio húmedo de La Cooperativa, aliviando el gasto económico que implica la utilización de los motores utilizados en las maquinas despulpadoras de café, iluminación, y cualquier tipo de consumo considerable en la que incurre el beneficio.

Objetivos

Objetivo General

- Diseñar un Biodigestor que trabaje con pulpa de café para el beneficio ecológico de la cooperativa “EL Polo”.

Objetivos Específicos

- Determinar la cantidad de producción de biogás según la cantidad de pulpa de café producido.
- Estimar el impacto ambiental debido a la construcción del biodigestor.
- Cuantificar los beneficios económicos y energéticos que tendrá el biogás producido por el Biodigestor.

Marco Teórico

Biodigestor

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestor es un contenedor cerrado, hermético e impermeable, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar, este puede ser excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera, en determinada dilución de agua para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los excrementos.

Tipos de biodigestores. Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

Continuos: Cuando la alimentación del digestor es un proceso interrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, este se aprovecha en aplicaciones industriales.

Semi continuos: Cuando la primera carga que se introduce a digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluentes), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor indiano y chino.

Discontinuos o régimen estacionario: Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto periodo de fermentación cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

Modelo chino (Domo fijo)

Los digestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados.

Al iniciar el proceso de digestor se llena con residuos agrícolas compostados con lodos activos de otro digestor a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor.

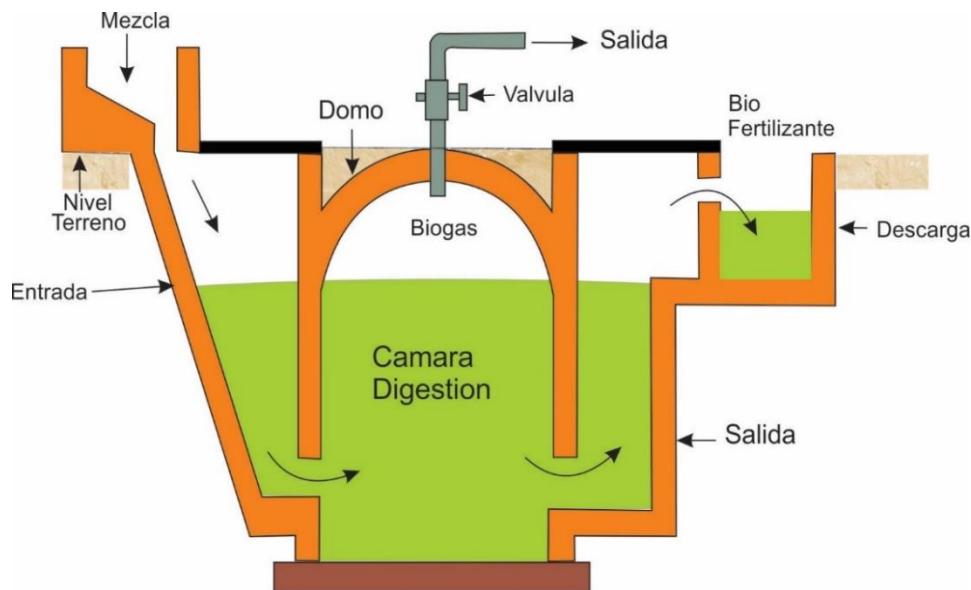


Figura 1. Biodigestor tipo chino

Fuente: Moreno Vamero María Teresa (FAO, 2011) Manual de Biogás

En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones hasta 100 cm de columna de agua. Se genera entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse este, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores.

El digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma

eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en biodigestores tipo hindú.

Modelo hindú (Domo Flotante)

Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejantes a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantiene las condiciones de operación.

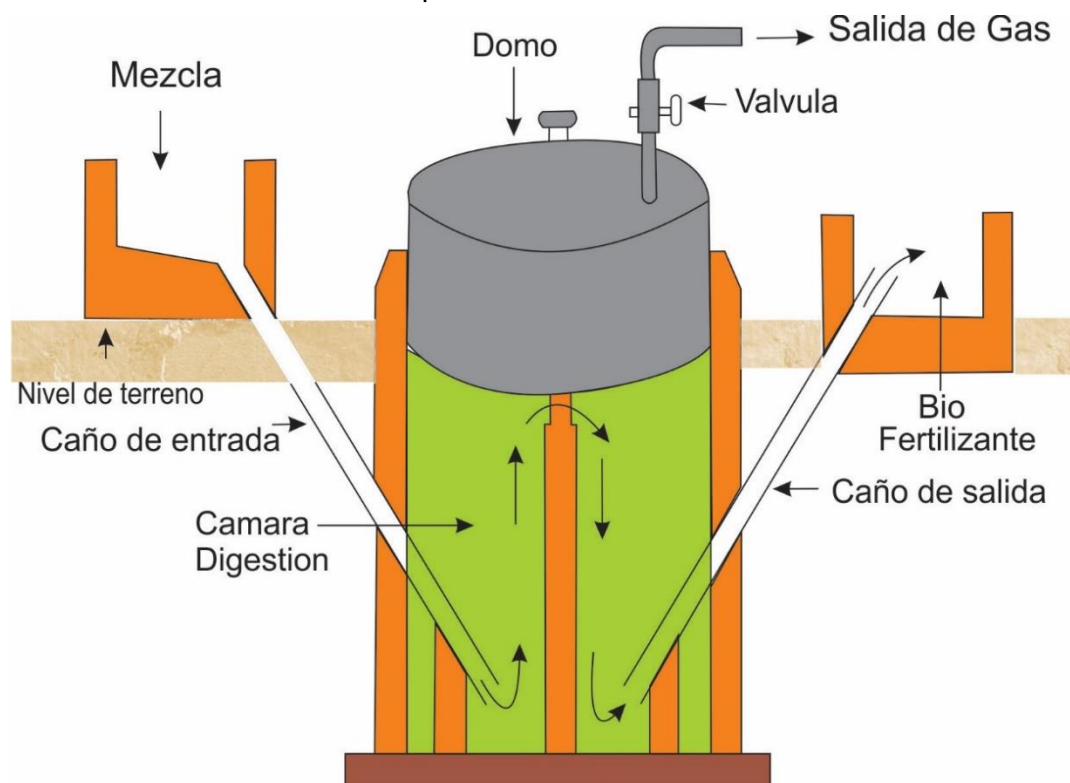


Figura 2. Biodigestor tipo hindú

Fuente: Moreno Vamero María Teresa (FAO, 2011) Manual de Biogás

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en mucho biodigestores. Este tipo de digestor presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digestor por día.

Biodigestor horizontales

Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejante un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular cuadrada o en "V". Se operan a régimen Semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie.

Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática.

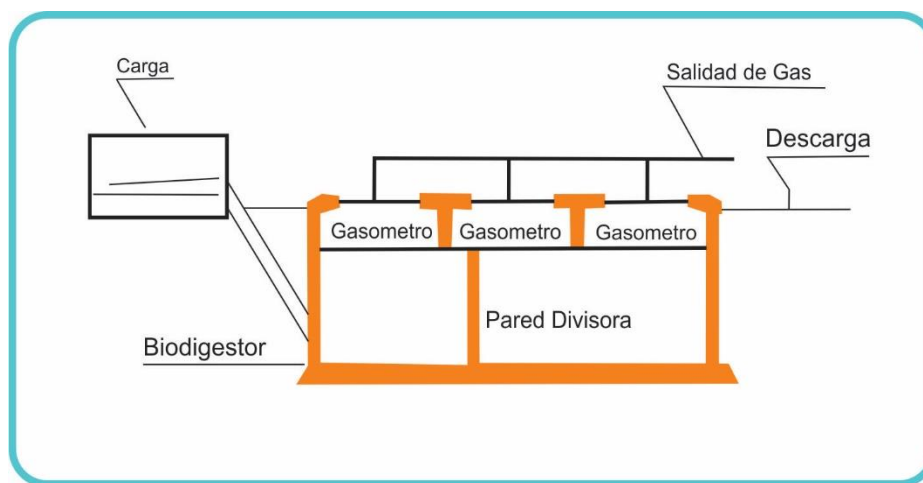


Figura 3. Biodigestor tipo Horizontal

Fuente: Moreno Vamero Maria Teresa (FAO, 2011) Manual de Biogas

Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario).

Este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante donde se almacena el biogás. El objetivo de disponer de más un digestor es tener siempre uno de ellos en carga o en descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás.

Este sistema discontinuo se aplicable en situaciones particulares, como sería la de la materia prima que presenta problemas de manejo en un sistema Semi continuo y continuo o materias difíciles de digerir metanogénicamente o cuando las materias primas o procesar están disponibles en forma intermitente. La alimentación o carga del digestor con la materia prima, solida, seca, se realiza por los lotes (discontinuamente) y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás.

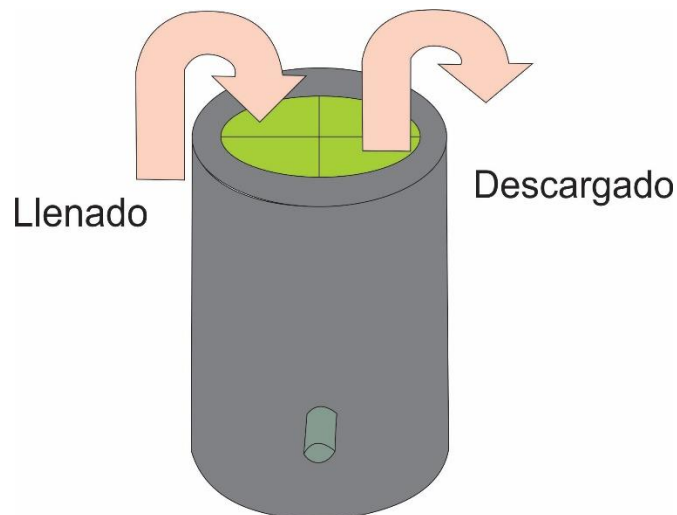


Figura 4. Biodigestor tipo Batch

Fuente: Moreno Vamero María Teresa (FAO, 2011) Manual de Biogás

Consideraciones a tomar en el manejo del biodigestor

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta son:

1. Mantener la temperatura constante la mayor parte del tiempo, por eso se favorece construir el biodigestor en el suelo por su capacidad de aislamiento.
2. Se debe evitar la entrada de aire ya que penetran otros microorganismos que detienen el proceso de fermentación.
3. Para evitar disminución en la eficiencia, no agregue más de un 25% de desechos vegetales.
4. No utilice estiércol ni orina de animales tratados con antibióticos, tampoco residuos de fungicidas o insecticidas, cuando esto ocurre el biodigestor se "indigesta" y detiene su funcionamiento, se debe vaciar su contenido, lavarlo muy bien y activarlo por medio de excretas de caballo y miel de purga

Descripción del proceso de digestión

Procesos de digestión de los residuos orgánicos

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materias orgánicas ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, con la necesidad de encontrar vías de descontaminación y eliminación de residuos.

Digestión aeróbica

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismo, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno (de ahí el nombre de digestión aeróbica) actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. Es un proceso mediante el cual los lodos son sometidos a una aireación prolongada de un tanque separado y descubierto. El proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y auto-oxidación de la materia celular.

La digestión aeróbica presenta diversas ventajas dentro de las cuales destacan la facilidad de operación del sistema, bajo la capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica, no genera olores molestos, reduce la cantidad de coliformes fecales y por lo tanto, de organismos patógenos, produce un sobrenadante clarificado con una baja demanda biológica de oxígeno (DBO), con pocos sólidos y poco fósforo.

El proceso presenta también sus desventajas, entre las que se suele mencionar los altos costos de operación causados por los altos consumos de energía la falta de parámetros y criterios claros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío.

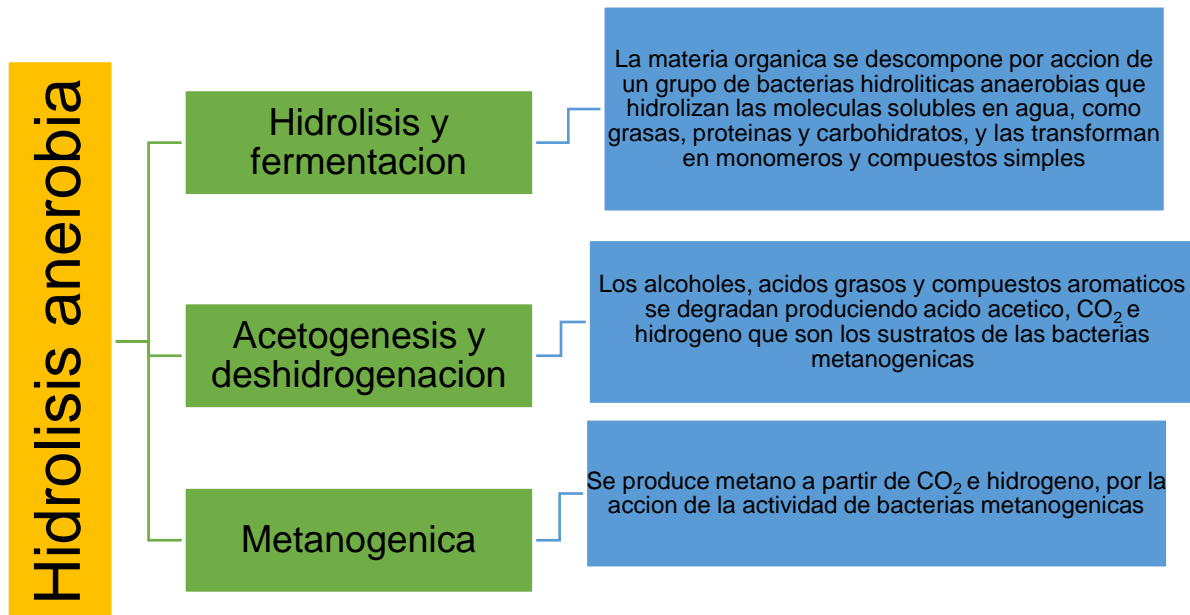
Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores como el agua oxigenada (H_2O_2) por lo tanto el proceso se caracteriza por ausencia de oxígeno y de ahí su nombre de digestión anaeróbica.

Utilizando el proceso de digestión anaerobia es posible convertir en subproductos útiles gran cantidad de residuos como los residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas.

En la digestión anaeróbica más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose solo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano, frente al 50% consumido en un sistema aeróbico. La digestión anaerobia a partir de compuestos complejos se produce gracias a la acción coordinada de tres grupos de bacterias, que actúan de forma coordinada e interdependiente.

En la siguiente figura se explica cómo actúan las tres bacterias mencionadas anteriormente:



Esquema 1. Hidrólisis Anaeróbica

Fuente: Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo (agosto 2010)

La degradación anaerobia es producida por bacterias metanogénicas (en su tercera fase) que participan en la descomposición de desechos orgánicos en un ambiente húmedo, sin oxígeno y con una temperatura adecuada (aproximadamente 35°C, a menor temperatura se requiere de más tiempo para producir la digestión anaerobia) también se requiere de otros parámetros como:

- **Hermetismo.** ambiente completamente hermético.
- **Relación carbono/nitrógeno (C/N)** La relación óptima de la materia orgánica C/N es 30:1; con una relación (10:1) existe pérdidas de nitrógeno asimilable reduciendo la calidad del material digerido. Con una relación (40:1) es demasiado amplia por lo que se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno.
- **Presión.** La presión manométrica óptima es de 6 cm de agua dentro del biodigestor.
- **Tiempo de retención (TR).** Es el tiempo que se efectúa la obtención del biol de buena calidad. Normalmente el proceso dura 35 a 75 días dependiendo de la temperatura.

- **Potencial de hidrogeno (PH).** El PH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Los valores oscilan entre 6.7 y 7.5 con límites de 6.5 a 8.0 (Hayes et al., 1979).

Definición de Biogás

¿Qué es biogás?

El biogás es un combustible capaz de sustituir combustibles fósiles o biomasa (leña). Mediante la implementación de tecnologías de biodigestión se puede aprovechar y manejar adecuadamente los desechos sólidos y líquidos en distintos sectores productivos, transformándolos en una fuente de energía.

El biogás se compone aproximadamente de 60% de metano (CH_4) y de 40% de dióxido de carbono (CO_2). Contiene mínimas cantidades de otros gases, entre ellos ácido sulfhídrico (H_2S). Es un poco más liviano que el aire posee una temperatura de inflamación de 700°C , su llama alcanza una temperatura de 870°C , y puede usarse como combustible cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50%, ya que tiene un alto valor calórico.

El biogás se genera por la descomposición de la materia orgánica o biomasa, en un entorno húmedo y sin oxígeno, por medio de la actividad bacteriológica. Se puede utilizar todo tipo de materias orgánicas o biológicas para generarlo, siempre que los microorganismos las puedan procesar. Entre las más comunes están:

- Estiércol de ganado, cerdos, gallinaza, excretas humanas, etc.
- Todo tipo de desechos orgánicos agrícolas: pulpa de café, restos de maíz, de frutas, bagazo de caña restos de papas, hortalizas, desechos bananeros, etc.
- Desechos agroindustriales producidos en fábricas de conserva, empacadoras de frutas, extractores de jugos, extractores de aceite de palma africana, etc.
- Fuentes orgánicas en rellenos sanitarios, depósitos de basura, plantas depuradoras.
- Desechos de la producción de azúcar, alcoholes y licores.

¿Cómo aprovechar el biogás?

El biogás puede utilizarse como combustible para cubrir necesidades energéticas, sustituyendo o reduciendo el consumo de petróleo y sus derivados, leña o cualquier otro combustible.

También puede aprovecharse para producir energía eléctrica ya que el poder calórico promedio de un metro cubico de biogás es de 5,000 kilocalorías (Kcal), lo que permite generar entre 1.3 y 1.6 Kwh de electricidad aproximadamente.

También se puede usar como combustible en equipos que posean motores adaptados a este gas. En resumen, se puede usar para generación o aplicaciones térmicas, en sustitución de combustibles. Por ejemplo:

- Generación industrial de vapor
- Calentamiento de agua
- Calentamiento de fluidos térmicos y corrientes de proceso
- Producción de frio industrial usando circuitos refrigerantes de adsorción
- Combustión en motores de combustión interna para producir potencia mecánica.

A más pequeña escala, en ambientes rurales, agrícolas o agropecuarios, se puede usar para:

- Generar calor para cocinar, calefacción y otros usos
- Producir iluminación
- Producir potencia mecánica
- Refrigeración

Finalmente dependiendo de la materia orgánica utilizada y de su contenido químico, químico el material o lodo se extrae de los biodigestores, después del proceso de fermentación y producción del biogás, se puede usar para alimentar aves de corral, peces ganado, o para sustituir los fertilizantes químicos.

Elemento	Porcentaje (%)
Metano (CH₄)	50-70
Dióxido de carbono (CO₂)	30-50
Nitrógeno (N₂)	0.5-3
Ácido sulfhídrico (H₂S)	0.1-1
Oxigeno (O)	0-1

Tabla 1. Composición química del biogás

Fuente: Talavera Carlos, (octubre 2011) Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo (SVN Honduras)

Sustratos Para la Producción del Biogás

Residuos Rurales.

Estos deben ser de preferencia de desechos orgánicos digeribles que contengan los nutrientes esenciales para el crecimiento y metabolismo del metano bacterias. El contenido de celulosa, lignina, proteínas, sólidos volátiles y grasas varía mucho de un desecho a otro y aun en mismo desecho, principalmente estiércol de vacunos, ovinos, porcinos, equinos y aves de corral. El estiércol es un material, más adecuado y balanceado en nutrientes y ya viene mecánicamente preparado, entre otros residuos rurales también puede ser usado, los desechos agrícolas ejemplo cascarilla de arroz pulpa de café etc.

Residuos Urbanos

El tratamiento anaeróbico de desagües, basuras, rellenos sanitarios, desechos de mercado, etc. Son factibles de utilizar en las plantas de diseño apropiado para cada caso, orientadas sobre todo a combatir la contaminación ambiental. Esto sería un gran beneficio económico energía más barata menor impacto ambiental y mejor calidad de vida.

Residuos Industriales

Existe un enorme potencial de recursos de biodegradables anaeróbicamente, que aún no está explotado a su gran potencial de producción de biogás, por ejemplo los residuos industriales pueden los afluentes y residuos de las fábricas de azúcar y alcohol fábricas de conservas alimenticias etc. Esto conllevaría a nuevas tecnologías para obtener un sistema más eficiente y reglamentar un nuevo protocolo para las industrias para conservación del medio ambiente.

Otros materiales como residuos medicinales (antibióticos) detergentes, ácidos o bases, sustancias con elementos halógenos, etc., pueden ser nocivos para la acción de las bacterias anaeróbicas y no deben introducirse al digestor. Los residuos deben recolectarse en un solo punto y puede ser almacenado cerca del digestor. Antes de su alimentación al biodigestor deben ser homogenizados y mezclados con agua hasta alcanzar una mezcla con un contenido de sólidos de aproximadamente 10-15 %.

Generalidades del café

Arbusto del café

Existe una variedad grande de arbusto de café, aunque son solamente dos tipos de café los que más se han comercializado, estos son los géneros coffee Arábica y coffee canephora (comúnmente conocido como Robusta). El primer género se caracteriza por su crecimiento lento delicado y menos producido que la Robusta, se cultiva en regiones altas entre los 900 y 2000 m.s.n.m. El género robusta es más productivo y se puede cultivar en lugares más bajos que el Arábica. Este último se caracteriza por producir un café fino y aromático en Nicaragua el café Arábica es el que se exporta.

Fruto del café

El fruto o cereza del café, como lo muestra la figura consiste de dos granos que están dirigidos hacia si del lado plano. Ambos granos están cubiertos por la pulpa (6) o mesocarpio y la piel exterior (7) o epicarpio. Cada grano de café está cubierto por 3 capas del exterior al interior. Estas son una capa de pectina (5) pergamino (4) o endocarpio y piel plateada (3) o tagumento. Debajo de estas capas se encuentra el grano del café propio (2) así como este es exportado.

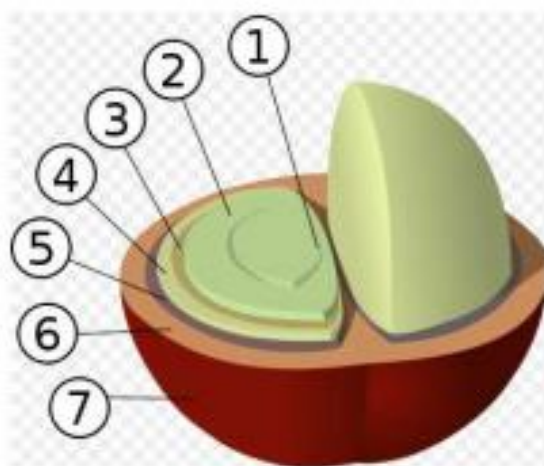


Figura 5. Fruto entero del café

Fuente: Estudio y monitoreo y posibilidades de aplicación de biogás en la finca el socorro, Matagalpa, Nicaragua schutgens Gieljam agosto (2010)

Beneficios

La época de la cosecha dura aproximadamente 90 días. Durante este tiempo los trabajadores pasan varios días por el mismo arbusto cortando a su vez los granos que ya estén maduros (rojos). Al llenar un canasto de granos lo ponen en un saco

que luego se lleva al beneficio para ser procesado. Existen dos métodos para procesar el café: el método seco y el método húmedo.

Beneficio seco

En el procesado con el método seco, que se aplica casi exclusivamente al género Robusta, se deja que los granos se sequen al sol y luego se muelen para eliminar el mucilago ya deshidratado, la capa exterior y el pergamino.

En Nicaragua y centro América existe cierta ambigüedad respecto al uso de la frase del “beneficio seco”. Mientras que en otros países esta frase es empleada para el modo descrito anteriormente, en Nicaragua esta frase se usa más como la segunda parte en el proceso del café, esto es, luego del beneficio húmedo.

Beneficio Húmedo

EL proceso con el método húmedo, más comúnmente conocido como beneficio húmedo, comienza llevando las cerezas del café a un reservorio o tanque por medio de los sacos descritos anteriormente. Desde aquí las cerezas por medio de gravedad son transportadas hacia los despulpadores. Este paso puede ir acompañado de agua, o puede suceder en seco cuando los tanques han sido dimensionados para este fin.

En los despulpadores la cereza del café son seleccionados en base a su tamaño y despulpadas quitando de esta manera la piel exterior y la pulpa queda entonces una superficie ligosa sobre el grano de un grosor de 0.5 a 2 mm. La pulpa se lleva a un lugar desde donde es utilizada para propósitos diversos o descartada como basura (cada vez en menor grado) y los granos se van a un tanque para que se fermenten.

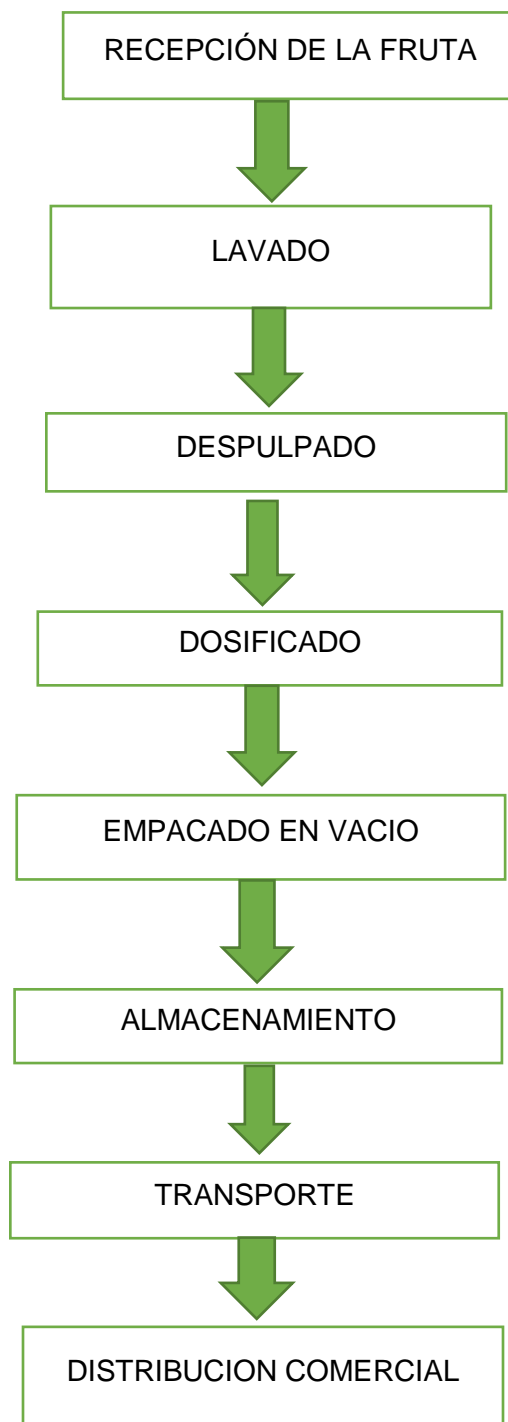
En los tanques de fermentación los granos permanecen durante 12 a 36 horas (dependiendo de la temperatura, el espesor de la capa de mucilago y la concentración de enzimas) para que la capa de mucilago tenga tiempo para fermentarse y se reduzca la mayor parte del mucilago.

El proceso se da por terminado cuando se comienza a lavar los granos para quitarles los últimos remanentes de mucilago descompuesto. Luego los granos son guardados en sacos (aprox. 60kg) para ser llevado al beneficio seco donde ahí es secado naturalmente por medio del sol.

El proceso de beneficiado del café húmedo y seco en centrales de procesamiento (cooperativas cafetaleras) culmina los esfuerzos del caficultor realizados durante todo la fase del cultivo y la cosecha, siendo una labor importante que permite comercializar la producción a nivel nacional e internacional desarrollándose generalmente la actividad entre los meses de octubre a diciembre de una y enero a marzo del siguiente año. Tiempo en que cual se debe preservar la calidad y

rendimientos del grano para evitar pérdidas económicas y debe mitigarse el impacto ambiental que causa el proceso por la generación de pulpa y aguas mieles.

En el siguiente esquema se explica todo el proceso para la obtención del fruto del café:

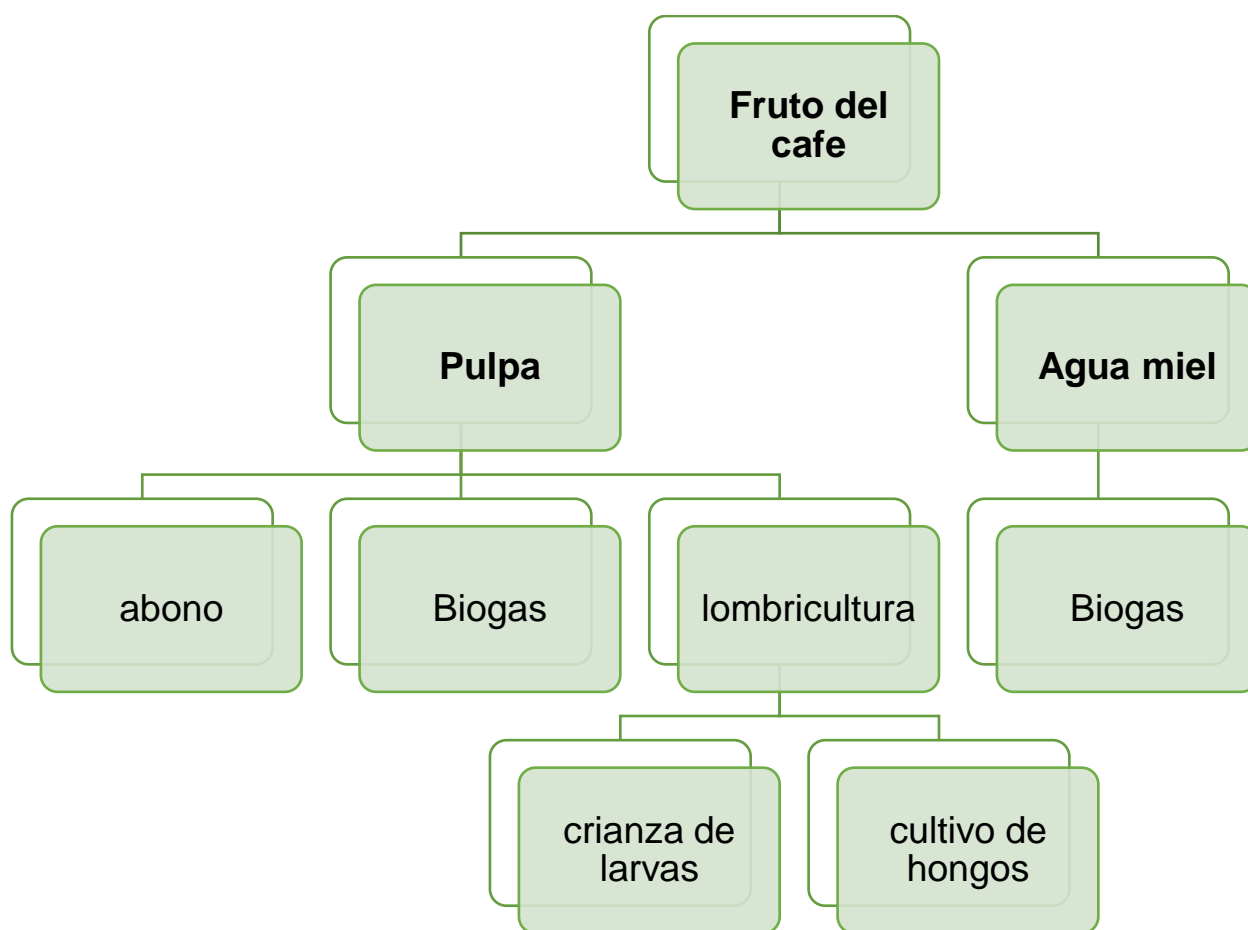


Esquema 2. Procesado de la obtención del café

Fuente: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia Cenicafé

Deshechos del procesado húmedo de café

Generalmente estos subproductos son desechados como basura y de preferencia de la manera más rápida posible. Muchas veces en río, lo que ha llegado a contaminar grandemente cursos de aguas naturales. Sin embargo, últimamente cada vez es mayor el número de informes que se producen sobre el uso beneficiario que se puede extraer de ellos. En el siguiente esquema puede apreciar el uso que le puede dar a los deshechos del café. .



Esquema 3. Desechos y beneficios del fruto del café

Fuente: Manual de construcción y operación de biodigestor tipo hindú y flujo continuo (agosto 2010)

Capítulo #1

Cooperativa “El Polo” R.L.

La Cooperativa de Servicios Múltiples “El Polo” R.L., radicada en el municipio de San Sebastián de Yalí, aglutina una membrecía total de 408 productores, siendo de ellos 370 productores de café, distribuidos en 17 comunidades de dicho municipio, con una producción sostenida de 20,000 a 25,000 QQ pergamino oreado que representan al menos 10,000 QQ oro de exportación.

Desde su fundación, El Polo ha orientado su labor al negocio cafetalero iniciando con ventas locales de café pergamino a precios especulativos. El Polo entrega su producción a exportadores nacionales que estos a su vez lo entregan a mercados especiales, dejando abierta la posibilidad de que la cooperativa pueda sustituir este intermediario y procurar compradores directos que ya están interesados en su producto.

Gracias al apoyo de diversos proyectos no gubernamentales, El Polo ha logrado la certificación socio ambiental de “Comercio Justo” y, adicionalmente entrenar a dos catadores “júnior” que le dan a la cooperativa el recurso humano básico necesario para emprender una estrategia integral de manejo y mejoramiento de la calidad del café producido en las fincas y ofrecido a los compradores de especialidades.

EL POLO es una Sociedad Cooperativa, creada bajo la forma de Cooperativa de Servicios Múltiples, que agrupa como socios a productores agropecuarios, principalmente del rubro CAFE. Tiene como origen a la Cooperativa Agropecuaria de Servicios “YALI” R. L. formada el día 12 de Marzo de 1996.

Esta Cooperativa, que tuvo su Personería Jurídica, conforme Resolución # 550-96 del Ministerio del Trabajo resuelve hacer el proceso de Liquidación. Para tal efecto, se nombró a los Miembros de la Comisión Liquidadora de la Cooperativa “YALI”, todo de conformidad del Arto. # 65 de la Ley General de Cooperativas y el Arto # 58 del Reglamento. De esta manera los bienes de la misma pasaron a formar parte de la nueva Cooperativa.

La cooperativa EL POLO se formó en el Año 2004, tiene alrededor de 13 años de experiencia. La misma ofrece servicios financieros (ahorro y crédito).

El área geográfica de cobertura de EL POLO constituye parte del Centro Norte de Nicaragua. A noviembre de 2011, EL POLO atiende con Servicios de Crédito a 408 Socios, a través del otorgamiento de 1150 créditos aproximadamente.

Por las características propias, como institución cooperativa, aunado al mercado principal al que sirve (CAFE), EL POLO tiene algunos competidores reales en su área de influencia, las Financieras que operan en los municipios pobres donde se ubica EL POLO, son la Cooperativa 20 de Abril, Cooperativa El Gorrión, financieras como Fundenuse, Fondo de Crédito Local, y las exportadoras de café CISA Y

ATLANTIC. Las ventajas comparativas de EL POLO son, sin embargo, las condiciones de los créditos (políticas) y los beneficios no financieros para los socios.

Variedades de café que se recibe en la cooperativa “EL Polo” R.L. Son:

1. Caturra
2. Catimore
3. Paracaima
4. Marsellesa
5. Acamara
6. Estrella
7. Lempira
8. Maragogype

Existen ocho tipos de café, que se cultivan, ya mencionadas anteriormente entre las cuales hay una diversa calidad de café, entre los cuales el caturra, Maragogype etc. Entre el rango de baja calidad se puede decir que es el tipo Catimore por tener una capa más gruesa de pulpa de café por lo tanto es más tardado el proceso de mucilago para desprender el grano oro del fruto.

Nutrimiento	%
Humedad	12.60
Materia seca	87.40
Extracto etéreo	2.50
Fibra cruda	21.00
Nitrógeno (N₂)	1.80
Proteína	11.20
Ceniza	8.30
Extracto libre N₂	44.40

Tabla 2. Composición química de la pulpa de café seca.

Fuente: Unicafe Agraria.

La cooperativa “EL Polo” R.L. cuenta con un centro de acopio, donde reciben a diario quintales de café uva, de diferentes comunidades cercanas al municipio de San Sebastián de Yalí-Jinotega, provenientes de pequeños a medianos caficultores de café, donde la cooperativa se encarga de procesar el café uva a despulparlo. Lo cual después es almacenado en sacos para ser transportado, a la ciudad de Matagalpa para hacer desmucilado y finalmente obtener el grano oro para ser industrializado.

El beneficio húmedo de la cooperativa “EL Polo” R.L. donde es recibido el café uva de los caficultores, es procesado por lo cual es despulpado y almacenado en piletas

para después ser transportado en sacos hasta el beneficio seco en Matagalpa. Lo cual quedan residuos en el beneficio húmedo de la cooperativa “El Polo” R.L. los cuales son la pulpa de café y aguas residuales conocidas como (aguas mieles) quedando estos residuos sin ser procesados de una forma correcta.

Nuestro planteamiento para este capítulo es hacer un estudio aproximado del potencial de biogás que se pueden obtener de la pulpa de café tomando datos reales y aproximados de fuentes bibliográficas que han realizado experimentos sobre la pulpa de café sobre el potencial que tiene este desecho sólido para hacer tratado de una forma beneficiosa para cooperativa y el medio ambiente.

En la siguiente tabla se reflejara la producción anual de café despulpado en los últimos años y como se ha ido desarrollando el crecimiento de producción de café de la cooperativa “El Polo” R.L.

PRODUCCION DE CAFÉ DESPULPADO POR LA COOPERATIVA "EL POLO" R.L. EN LOS ULTIMOS AÑOS	
Temporada	QQ/Pergamino
2010-2011	10,000
2011-2012	15,550
2012-2013	20,600
2013-2014	31,000
2014-2015	48,830
2015-2016	58,613

Tabla 3. Producción de café despulpado en los meses de cosecha (Dic-Feb).

Fuente: Cooperativa "EL POLO" R.L.

Con los datos de producción del café se realizó un estudio sobre el potencial de biogás a generar la pulpa de café mediante un diseño anaeróbico preciso para este tipo de residuos sólido y dimensionado de la mejor manera para tratar de sacar el mejor potencial y beneficio de dicho residuo.

Método de estimación del potencial de biogás

Las ecuaciones para estimar el potencial de biogás en los efluentes en este estudio son:

$$PB = REB \times CO \times \eta \quad (1).$$

Donde:

PB= potencial de biogás (Nm³ biogás al 60% CH₄/día o jornada producción)

REB= Rendimiento específico de biogás del efluente=0.53 Nm³ biogás al 60% CH₄/kg DQO removido.

CO= carga orgánica del sustrato (kg DQO/día jornada de producción)

η = Eficiencia de conversión (asumida o documentada) para el sustrato

En la primera fórmula nos piden el valor de **CO** por lo cual se va a calcular con la siguiente fórmula:

$$CO = DQO \times GTD \quad (2)$$

Donde:

DQO= concentración química de oxígeno en la corriente de efluentes (kg DQO/m³ efluente)

GTD = gasto total diario= volumen total de efluente contabilizado al día o en la jornada de producción (m³/día)

Las estimaciones de energía química y eléctrica, y de potencia térmica y eléctrica, habiendo estimado el PB como definido arriba se basaron en las siguientes ecuaciones:

$$ET = PB \times PCI \quad (3)$$

Donde:

ET= energía térmica (MJ/día)

PCI= poder calorífico inferior del biogás a 60% CH₄ = 21.6 MJ/Nm³

$$PT = ET / (24 \times 3,600) \quad (4)$$

Donde:

PT= potencia térmica (MWt)

Donde 24 presenta las horas del día y 3,600 los segundos por hora

$$PE = PT \times 0.4 \quad (5)$$

Donde:

PE = Potencia eléctrica (MWe)

Donde el factor 0.4 representa la eficiencia de conversión térmica a eléctrica asumida.

Fuente: Talavera Carlos, (octubre 2011) Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo (SVN Honduras)

Determinación de la producción de biogás

El cálculo realizado para determinar la producción de biogás de la cooperativa "El Polo" R.L. Se hizo mediante las formulas explicadas anteriormente. Para ello se tomaron valores de fuentes de la literatura técnica (Hoffman, 2003). En este caso la estimación del potencial se basó en cálculos teóricos para la cantidad de biogás que se puede obtener de la fermentación del sustrato.

Temporada	Kg/pulpa	m ³	Producción x mes kg	Producción x día kg	m ³
2015-2016	47476.53	47.47653	11869.1325	395.63775	0.395638

Tabla 4. Producción de pulpa de café.

Fuente: Cooperativa "El Polo" R.L.

Para el cálculo realizado de la estimación del potencial de biogás se tomaron los datos de la Tabla No.4 donde se trabajó en medida de M³ para poder determinar un estimado de producción de biogás diario.

Tomando como referencia los siguientes valores:

- El rendimiento específico de la pulpa de café **0.38 Nm³/kg**, Hoffman (2003).
- Demanda Química de oxígeno (DQO)= 6 kgDQO/m³^[1]

Co ^[2]	PB ^[3]	ET ^[4]	PT ^[5]	PE ^[6]
2.37	0.135	2.916	3.375	1.35

Tabla 5. Producción de biogás por día de jornada de despulpado de pulpa.

Fuente: Propia.

Es importante notar en la Tabla No. 4 que los resultados del potencial de biogás de la temporada 2015-2016 tienen un alto potencial de biogás. Implementando la tecnología de biodigestores se puede aprovechar esta producción de biogás y cumplir una cierta parte de demanda energética que el beneficio húmedo necesita para poder accionar su sistema del procesado del café.

¹ Juan Guerrero. Estudio de diagnóstico y diseño de beneficio húmedo de café

² CO= Carga orgánica del sustrato (Kg DQO/día o jornada de producción)

³ PB= Potencial de biogás (Nm³ biogás al60 %/día o jornada de producción)

⁴ ET= Energía térmica (MJ/día)

⁵ PT= Potencia térmica (Mwt)

⁶ PE= Potencia eléctrica (Mwe)

Determinación total de potencial de biogás la cooperativa “El Polo” R.L.

De la Tabla No.4 (Producción de pulpa de café de la cooperativa), tomamos el valor de la temporada 2015-2016 de pulpa de café que fue de 47.47 m³ de pulpa fresca de café.

Entonces calculamos:

Carga orgánica

$$CO = DQO \times GTD$$

$$CO = 6 \text{ kg DQO/m}^3 \times 47.47 \text{ m}^3$$

$$CO = 284.82 \text{ kg DQO}$$

Potencial de biogás

$$PB = 0.38 \text{ Nm}^3/\text{kg} \times 284.82 \text{ kg DQO} \times 0.15$$

$$PB = 16.23 \text{ Nm}^3$$

Energía térmica

$$ET = PB \times PCI$$

$$ET = 16.23 \text{ Nm}^3 \times 21.6 \text{ MJ/Nm}^3$$

$$ET = 350.568 \text{ MJ}$$

Potencia Térmica

$$PT = ET / (24 \times 3,600)$$

$$PT = 350.568 \text{ MJ} / (24 \times 3,600)$$

$$PT = 40.45 \text{ Mwt}$$

Potencia eléctrica

$$PE = PT \times 0.4$$

$$PE = 40.45 \text{ Mwt} \times 0.4$$

$$PE = 16.18 \text{ Mwe}$$

El propósito para el estudio de potencial de biogás, era para visualizar si era viable implementar el diseño de un biodigestor para el beneficio húmedo “El Polo”. En el cual con el resultado de las cantidades de desecho de pulpa de café fueron aumentando, a gran medida lo que representa para la cooperativa almacenar esta pulpa de café sin ser tratada.

En la siguiente tabla se presenta el consumo de biogás en equipos que trabajen con este tipo de combustibles.

Equipo	Consumo de biogás en m ³ /hora
Estufa de cocina	0.150-0.200
Fogón para cocinar alimentos	0.300
Lámpara de gas equivalente a una bombilla de 60w	0.100
Calentadores para lechones o cría de levante	0.250
Calentadores para cría de pollos	0.150
Motor de biogás – diésel	0.420
Producción de 1Kwh corriente eléctrica con una mezcla biogás diésel	0.700

Tabla 6. Utilización y consumo de biogás.

Fuente: Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás, (marzo de 2003).

Principales parámetros asociados a los procesos de beneficiado del café:

Potencial de hidrogeno (PH): se refiere al grado de acidez o alcalinidad de una sustancia. La escala de pH tiene un rango que esta de 0 a 14. Un valor que se encuentre por debajo de PH7 se considera ácido y por encima de PH 7 se considera alcalino o básico. El agua en su estado natural tiene un PH alrededor de 7.

Solidos sedimentales: la cantidad de sólidos en suspensión que se encuentran en el flujo de aguas residuales, puede ser expresado por las siguientes dimensionales: kilogramos de solidos sedimentales por metro cubico (kg.ss/m³), miligramos de solidos sedimentables por litro (mg, SS/l) o bien partes por millón (ppm).

Demanda química de oxigeno (DQO): es la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales. Se mide por la cantidad de oxigeno utilizado en la descomposición (oxidación) de la materia orgánica e inorgánica, es decir la cantidad de oxigeno requerida para la oxidación completa de la materia orgánica.

Demanda biológica de oxigeno (DBO): medida indirecta del contenido de la materia orgánica en aguas residuales, que se determina por la cantidad de oxigeno utilizado en la bioquímica de la materia orgánica biodegradable, durante un periodo de cinco días y a una temperatura de 20 grados centígrados.

Tanto la DBO como la DQO, están basadas en la determinación de la cantidad de oxigeno necesaria para que las aguas resulten inofensivas para la vida acuática, animal y vegetal. Generalmente el poder contaminante de un efluente se mide en DQO o DBO.

Tipo de efluente	DQO mg/Lt
Aguas negras domesticas tratadas	20 a 60
Aguas negras domesticas no tratadas	300 a 400
Efluentes del beneficio húmedo de café con tratamiento	3,000 a 7,000
Pasta de estiércol bovino	10,000 a 20,000
Pasta de estiércol porcino	20,000 a 30,000
Fuentes del esilaje	30,000 a 80,000

Tabla 7. Comparación de DQO del efluente de la agroindustria con otros.

Fuente: ANACAFE. s.f.

Los residuos orgánicos, tanto solidos como líquidos, son de muy difícil disposición final por su carácter de contaminantes ambientales. Sin embargo, el mejor tratamiento para cualquiera de estos elementos, es su conversión en productos que puedan volverse a incorporar a la naturaleza en forma reciclada o la extracción de algunos de sus componentes químicos que pudiesen ser utilizados por otros fines en su forma purificada.

Pulpa de café

La pulpa de café es un subproducto sólido, y es la más voluminosa representa el 56% del volumen del fruto y el 40% del peso. La composición química de este residuo al sufrir un proceso de fermentación puede provocar que se formen grandes cantidades de carga orgánicas como desecho solido no reutilizado. Se tiene la ventaja de que, un gran porcentaje de caficultores, la utilizan como abono orgánico en forma de compostaje.

Algunos de los compuestos encontrados en la pulpa de café son los azúcares reductores y no reductores los azúcares son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza, cuya estructura está formada por moléculas de carbono, hidrogeno y oxigeno estos son producidos por plantas verdes y algunos tipos de bacterias con capacidad de realizar fotosíntesis; en este proceso es utilizado el dióxido de carbono en el aire y la energía solar para producir glúcidos, necesarios para el crecimiento de los organismos.

La pulpa de café es un material fibroso mucilaginoso y se genera durante el procesamiento del café por vía humedad (beneficio húmedo) y en este caso se conoce como pulpa de café y constituye cerca del 40 % del peso fresco de la cereza de café. Por cada tonelada de café cereza procesada por esta vía se genera cerca de media tonelada de pulpa. Cuando el procesamiento del café se realiza por vía seca (beneficio seco), se denomina como cáscara de café y solo se generan 90 Kilogramos ^[7].

⁷ Pandey et al., 2000c; Roussos et al., 1995

La pulpa de café es uno de los principales subproductos de este proceso de beneficio húmedo del café, tanto por el volumen que se genera como por el alto contenido en componentes biodegradables que posee. Tiene una elevada humedad (80-82%). Es rica en carbohidratos, proteínas, minerales y contiene cantidades apreciables de potasio, taninos, cafeína y polifenoles ^[8].

Caficultura en Nicaragua

La caficultura ha sido para Nicaragua, especialmente en las últimas cuatro décadas, el principal rubro de agro exportación del país. La importancia de la caficultura no solo radica en su capacidad de generación de divisas, también en su facultad de generar empleos permanentes y temporales.

Otra contribución importante de la caficultura es su vinculación con la preservación del medio ambiente. Las plantaciones de café con poblaciones que varían entre 2,500 a 5,000 plantas por manzana son en la práctica bosques de porte bajo. Estas plantaciones de café también poseen una diversidad de árboles de porte medio y alto, utilizados para proveer de sombra a los cafetos. Los cafetales son de hecho bosques en dos o tres niveles que contribuyen a proteger los suelos, permitiendo estos bosques, la captura e infiltración en forma gradual de las aguas que caen en la época de invierno.

La caficultura nicaragüense data desde hace ciento cincuenta y nueve años, siendo desde entonces un pilar importante para la economía del país, recientemente en el periodo 2000-2006 aportó entre 1.8% y 4.6% del producto interno bruto. Ayudando al sostenimiento económico familiar a través de la generación de empleo directo e indirecto en la fase de cultivo, cosecha, procesamiento y comercialización del grano con un total estimado de 280,000 puestos de trabajo contribuyendo a la reducción de pobreza a través del mantenimiento de una fuente de trabajo importante en el sector agrícola del país.

El café de Nicaragua se cultiva por unos 30,400 productores en un área total 185,567 manzanas distribuidas en diecisiete departamentos del país, siendo los diez con mayor área cultivada: Jinotega (31.7%), Matagalpa (24.9%), Nueva Segovia (10.9%), Madriz (6.8%), Managua (5.6%), Carazo (5.3%), Masaya (2.9%), Boaco (2.8%), Granada (2.1%) y Estelí (1.9%).

Adicionalmente, la mayoría de las fincas cafetaleras mantienen áreas destinadas a bosques (primarios secundarios o artificiales), con el objetivo de proteger las plantaciones de café de los vientos o para permitir la captura e infiltración de agua, la que es requerida para el consumo de los trabajadores asentados en dichas fincas o para el proceso de lavado y clasificación del café en beneficio húmedo.

⁸ Porres et al., 1993; Roussos et al., 1995; Salmone et al., 2005

Con el auge de las certificaciones, las que requieren de los cafetaleros certificados, el cumplimiento de estándares socio ambientales más fincas cafetaleras están prestando mayor atención a preservar o desarrollar nuevas áreas boscosas. Aunque la caficultura nicaragüense ocupa un importante lugar en la producción nacional su rendimiento productivo no ha variado significativamente en los últimos cuarenta años registrando en estas cuatro décadas productividades que han fluctuando entre los 6-12QQ oro/mz.

El café que produce Nicaragua es básicamente del tipo de arábica y del grupo de café lavado (otros suaves). La cálida del café producido por el país, rivaliza a aquellas producidas por otros países productores de café con prestigio internacional, como Colombia y Guatemala y costa Rica.

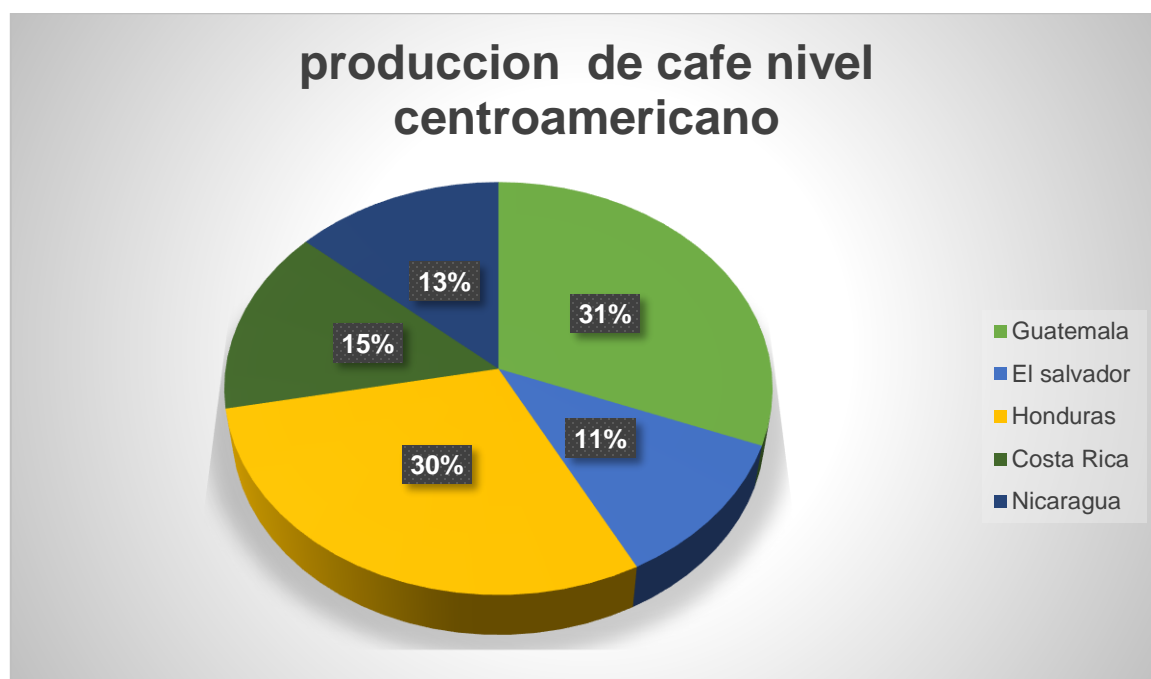


Figura 6. Producción de café a nivel centroamericano.

Fuente: En base a datos de la Organización Internacional del CAFÉ (OIC).

Las exportaciones de café en Nicaragua

La actividad exportadora en Nicaragua, ha experimentado grandes cambios desde el inicio de los noventa. Por lado, la producción exportable de Nicaragua se ha triplicado en los últimos 10 años desde sus niveles más bajos en el ciclo 2000/01 con 1.67 millones de quintales exportados. Por otro lado, el producto de la privatización del comercio de café como parte del programa de ajuste estructural que se emprendió en 1990, el número de firmas exportadoras de café pasó de 16 en el 1990 a 57 en el 2001 y a 38 en el 2003. Otro cambio importante, es la concentración de esta actividad en pocas manos de cinco compañías

transnacionales las que combinadas exportan el 80% de la producción exportable nacional.

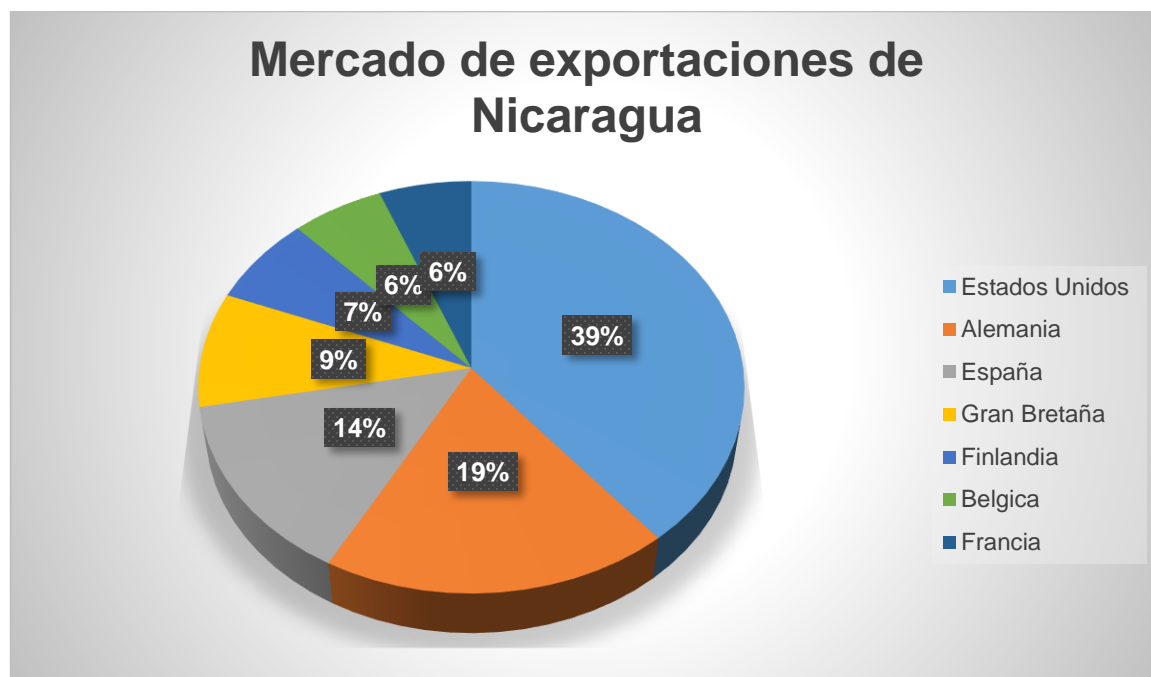


Figura 7. Mercado de Exportaciones de Nicaragua.

Fuente: Centro de Trámites y Exportaciones (CETREX). 2002.

En Nicaragua los dos principales departamentos de productores de café son Jinotega y Matagalpa, lo que en conjunto representa casi el 80% de la producción nacional de café. Los departamentos de nueva Segovia, Madriz y Estelí, en su conjunto son responsables de aproximadamente un poco menos del 15% de la producción nacional. La importancia de este último grupo es la calidad de dicho café.

Aunque Nicaragua es privilegiada con condiciones agroclimáticas para producir café de calidad y lograr altas producciones, la realidad actual para competir con otros países cafetaleros es adversa.

Capítulo #2

Impacto ambiental y Diseño de biodigestor

En el beneficio húmedo se efectúa el despulpe del café donde se remueve la cascara del fruto (exocarpio) y se realiza la separación del mucílago (mesocarpio) a través fermentación natural o remoción mecánica (desmucilaginado), para después deshidratar los granos de café pergamino y preservarlos durante un período de almacenamiento temporal. El agua utilizada en la fase húmeda sirve para efectuar el despulpe, la remoción del mucílago por lavado o desmucilaginado, clasificación del café en uva y/o pergamino y lavado de las instalaciones; contaminándose en el proceso y cambiando su estado natural de agua limpia a agua residual o contaminada.

Los indicadores de contaminación son los que nos permiten detectar y medir el grado de contaminación en los cuerpos de agua, por ejemplo:

- Concentración de la contaminación expresada en Kg DQO/m³ o Kg DBO/m³.
- Carga contaminante: cantidad de pulpa y mucilago que se mezcla con las aguas residuales expresados en Kg/m³.
- Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO): cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para la descomposición de la materia orgánica.
- Demanda Química de oxígeno (DQO): cantidad de oxígeno requerido para la oxidación completa de la materia orgánica por agentes químicos altamente oxidantes.

En el proceso de despulpe se tiene dos factores importantes de contaminación: La pulpa de café y las aguas mieles o residuales. La pulpa es un residuo sólido que representa entre un 40% y 46% del peso del fruto con una carga contaminante equivalente a 20kg de demanda química de oxígeno (DQO) por quintal oro.

Ahora bien, las aguas mieles es el agua utilizada para despulpar y lavar se convierte en residual (agua-miel). Su naturaleza química está relacionada con la composición físico-química de la pulpa y el mucílago, debido a que estos dos elementos proporcionan partículas y componentes durante el contacto turbulento e intenso con el agua limpia. Así se origina su aporte como carga orgánica, del primero y segundo lavado, con alrededor en términos de D.Q.O. de 43,615 mg O₂ / Litro, equivalente a 6 Kg de D.Q.O./quintal oro. Los elementos orgánicos, como son azúcares y proteínas, de las aguas miel son las que ocasionan mal olor, color, sabor desagradable, presentan compuestos altamente tóxicos; es por lo anterior mencionado que sabemos que los efectos negativos de las aguas mieles en las fuentes de agua son:

- Agotamiento del oxígeno en el agua esto ocasiona muerte a los seres vivos en el agua.

- Cambia la acidez natural del agua, la cual ya no es apta para: irrigación de cultivos, aplicación de agroquímicos, lavar café y mucho menos para el consumo humano y animal.
- Afecta sus cualidades organolépticas y apariencia del agua afectando directamente color, sabor y olor.

No se puede pasar por alto el mencionar las diversas afectaciones ambientales que representa el mal manejo de estos subproductos del café, en las que podemos destacar las siguientes:

- Los residuos orgánicos tanto sólidos como líquidos son difíciles de tratar y tienen carácter de contaminantes del medio ambiente.
- En las aguas estancadas ocurre proliferación de moscas, mosquitos y otros vectores de enfermedades.
- Destruye la biodiversidad, tanto la flora como la fauna, se mantiene gran cantidad de sólidos suspendidos y cambia de color el agua, en otros.

Se conoce que por quintal de café procesado en el beneficio húmedo se generan aproximadamente 58 libras de DQO de las cuales 13 libras son de aguas mieles y 45 libras son de pulpa.

En el decreto N° 33-95 del 26 de Junio de 1995 de la legislación ambiental del país fija los valores máximos permisibles de contaminantes, el artículo 38 fija los valores permisibles para el beneficiado húmedo de café, siendo estos los siguientes:

PARAMETROS	RANGO PERMISIBLE
pH	6.5-9.0
Sólidos Suspendidos totales (mg/L)	150
Sólidos sediméntales (ml/L)	1.0
DQO (mg/L)	120
DBO (mg/L)	200
Materia flotante	Ausente
Grasas y aceites (mg/L)	10

Tabla 8. Valores máximos permisibles de contaminantes.

Fuente: Legislación Ambiental de Nicaragua.

Para el año 2007 se sabía que en los últimos once ciclos agrícolas las cantidades estimadas de pulpa y agua miel generadas por los beneficios húmedos a nivel nacional habían variado de 268,111 a 511,980m³ de pulpa y de 2.199,436 a 4.200,000m³ de aguas mieles (calculando un consumo aproximado de 2m³ por QQ oro), con estos valores podemos determinar que la contaminación generada por

estos componentes es de hasta 51% de lo que puede generar la población nicaragüense en total.

El volumen generado de pulpa, aguas mieles y contaminación en equivalente poblacional, se muestra en los gráficos siguientes:

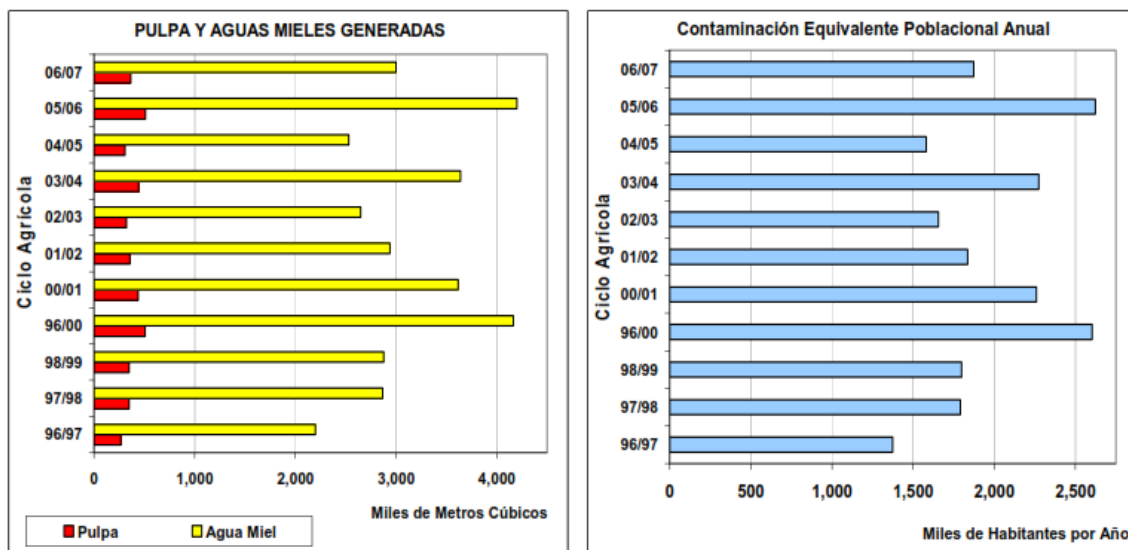


Figura 8. Volumen generado de pulpa, aguas mieles y contaminación en equivalencia poblacional.

Fuente: IICA NICARAGUA-PROMECAFE, Estudio de Diagnóstico y Diseño de Beneficios Húmedos del Café.

Las aguas mieles que se producen durante el proceso de beneficio húmedo del fruto de café, son biodegradables, pero poseen características fisicoquímicas particularmente agresivas con el medio ambiente pH bajos, acidez alta y concentraciones de materia orgánica correspondiente a poderes contaminantes 60 veces superiores a las aguas residuales domésticas ^[9].

Distintos usos de la Pulpa de Café

Debido a que la pulpa se considera el contaminante de mayor importancia, se aconseja que uno de los métodos para manejarla es transformarla en abono orgánico, el cual es rico en nutrientes. Utilizarla como abono conlleva ganancias como: mejorar las condiciones del suelo al incrementar la micro-fauna y porosidad, contribuyendo a incrementar los rendimientos productivos.

En la pulpa se encuentra la mayor cantidad de nutrientes que la planta ha absorbido para el llenado del fruto. La concentración de nutrientes como potasio, calcio, fosforo están en mayor cantidad en la pulpa que en el propio grano de café además contiene elementos menores como magnesio, azufre, hierro, manganeso y boro. Todas estas pequeñas cantidades según análisis realizados a la pulpa se estima que de cada 100 lb manejada equivale a 10lb de fertilizante químico de la fórmula 14-3-37, este

⁹ Zambrano y Rodríguez (2008), Federación Nacional de cafeteros Colombia, Cenicafe,

fertilizante es como si compramos un quintal de fertilizante químico que tiene 14 libras de nitrógeno, 3 libras de fósforo y 37 libras de potasio. Lo que más contiene y la hace valiosa es su alto contenido de materia orgánica, que es mayor a 90%.

Los beneficios de la pulpa del café en los suelos son:

- Conservación de la humedad
- Aumento de la capacidad de infiltración del agua en el suelo.
- El suelo se vuelve más poroso y suelto.
- Disminuye la erosión hídrica.
- Aumenta la fertilidad del suelo.
- Facilita la absorción de fertilizantes químicos.
- Reducción de costos de producción.

Es por esto que la pulpa es excelente como abono foliar, esto utilizando 40lb de pulpa descompuesta, dejándolo en agua por 4-6 días; diluyendo en un barril. Este producto debe de ser colado antes de aplicar.

Usos de las aguas mieles

- De las aguas de despulpado. Se puede ir almacenando o aplicando como abono foliar, estas aguas son ricas en azúcares, carbohidratos y proteínas. Se puede aplicar dependiendo de la concentración de 1 a 2 litros por bombada de 20 litros para café en desarrollo de viveros.
- De las aguas mieles del primer lavado. Son utilizados como abono foliar para café a dosis de 1-2 litros por bombada, siendo utilizadas alrededor de 12 bombas por manzana de café.
- Los sedimentos acumulados en el fondo de los pozos de oxidación se procede a recoger y orearse para ser utilizado como:
 - a) Abono foliar= 2lb por bombada
 - b) Alimento para lombrices mezclado con el compost.
 - c) Hacer mezcla de humus – sedimentos para foleo a dosis 2lb por bomba.
- Para ser arrojadas en terrenos baldíos, como fuente de enriquecimiento en materia orgánica y elementos minerales.

Capacitación de Cooperativa "El Polo" R.L como compromiso con el Medio Ambiente

Para la concientización a los productores sobre todas las afectaciones que conlleva un mal manejo de la pulpa de café y aguas residuales, la cooperativa El Polo creó talleres de capacitaciones a los productores afiliados a dicha cooperativa, esto

dentro de las obligaciones que acarrea la certificación de Comercio Justo, que se inclina ampliamente a la parte ambiental.

Dentro de su plan de gestión ambiental, citan: La protección ambiental es de mucha importancia porque de la sostenibilidad ambiental y la responsabilidad de cada individuo depende el futuro y el buen funcionamiento de la Cooperativa y lógicamente del ser humano. En esto tiene que ver lo ético y lo profesional de cada miembro de la organización, manera que es imprescindible tratar de llegar a la conciencia de ellos mediante capacitaciones y demostraciones que incidan en el pensamiento y la disciplina al momento de explotar los recursos donde se debe hacer de manera racional, sobre todo los recursos suelo y agua que son de los que dependen exclusivamente los miembros de la cooperativa El Polo, sin obviar el resto de componentes de los ecosistema locales.

Conociendo la responsabilidad de la cooperativa con la gestión ambiental, se domina que dentro de sus talleres a pequeños productores se insta a utilizar la pulpa primeramente como compost, es decir como abono orgánico. Y dar manejo a los vertederos de aguas residuales ya existentes en las fincas.

La cooperativa no solo se basa en talleres de capacitación, sino que creo un programa de instalación de Biodigestores que beneficio alrededor de unos 50 productores.

En una entrevista al Ing. Ariel Ochoa los biodigestores instalados han sido en su mayoría alimentados de excremento de ganado y aguas mieles, este nos explicó el funcionamiento de un biodigestor ubicado en la finca de un pequeño productor en la comunidad El Volcán, aproximadamente a 10km de San Sebastián de Yalí. Este biodigestor es alimentado por aguas mieles, a como se conoce a las aguas mieles se le debe de nivelar el pH a un valor de 7 para que pueda ser óptimo para un proceso anaeróbico, para ello se le doto al productor de una cinta indicadora de pH. Para esto, según la experiencia del productor, Don Rigo, se le trataba con aproximadamente 18lb de cal para su nivelación.

Al biodigestor tubular de polietileno de 6m³ se le introdujeron alrededor de 300lb de excremento de ganado que se ocupa para la activación de las bacterias necesarias para el proceso, luego de 8 días ya se pudo notar que la membrana se infla, lo que indica la producción de gas, en este momento es cuando gradualmente se deja caer (por gravedad) las aguas mieles, previamente tratadas.

Según el Ing. Ochoa el reporte de mayor producción de gas fue de hasta 5 horas.

Filtración de Agua mieles en el beneficio "El Polo" R.L

Al tener un compromiso con el medio ambiente la cooperativa El Polo trata las aguas mieles del beneficio húmedo para disminuir la contaminación, esto lo hacen de la siguiente manera: se construyeron piletas de almacenamiento de agua mieles, estas tiene como fin el retener el agua miel producto del proceso de despulpe del día, al final del día habiendo acabado de despulpar las aguas miel de las piletas son

transportadas por medio de tubos de agua hacia tres tanques de concreto que contienen filtros de agua. Luego de ser tratadas las aguas son dejadas caer en una laguna de evaporación, para la culminación del proceso.

Estas aguas al haber sido tratadas ya no representan un peligro de contaminar al medio ambiente o ser causante de enfermedades, el agua sale limpia de los tanques de filtración. Estos tanques así como la laguna de evaporación están a una distancia considerable de las instalaciones del beneficio, pero siempre desde el mismo terreno.



Figura 9. Tanques de filtración de agua miel.

Fuente: Propia.



Figura 10. Pila de agua mieles.

Fuente: Propia.

Importancia de los Biodigestores

La explotación de energía no renovable como combustible, gas natural, carbón así como también el uso irracional de pesticidas, fertilizantes químicos y la deforestación de los bosques, constituyen fuentes de deterioro ambiental que casi siempre es irreversible.

El deterioro del medio ambiente ha venido creciendo cada vez más, la frontera agrícola sigue a pasos agigantados, como consecuencia de esto los residuos agrícolas no son tratados de la mejor manera. En este caso nuestro objetivo es mitigar la contaminación, de los residuos producido por la obtención del grano del café, lo cual son pulpa de café, aguas mieles.

Los biodigestores son un medio de tratamientos, de los residuos agrícolas e industriales principalmente, han sido usado para el tratamiento de excretas de animales, pero conforme el tiempo. Se han hecho experimentos en laboratorios de cómo se comportan los residuos agrícolas entre ellos (pulpa de café) de los cuales se han obtenido excelentes resultados para la producción de biogás.

La degradación o descomposición se da por la acción de bacterias anaeróbicas que actúan en un medio sin oxígeno. Las bacterias consumen el carbono y el nitrógeno y como resultado se produce una combinación de gases formado por metano, anhídrido carbónico y un poco de monóxido de carbono y anhídrido sulfuroso, entre otros.

El impacto ambiental por la utilización de biodigestores

Los desechos de animales (cerdos, ganados, pollos etc.) y los residuos de materia orgánica son altamente contaminantes, si son descompuestos al aire libre y muchas de las técnicas modernas, no logran solucionar económicamente este problema. Los biodigestores descontaminan y transforman estos desechos y los convierten en subproductos aprovechables, como el bioabono y el biogás.

Hay que tomar en cuenta, un aspecto muy importante es que los digestores cumplen, una función ecológica como es reciclar totalmente los desechos obteniendo, la protección del suelo, al producir abonos de gran calidad y al agua al evitar de verter residuos orgánicos.

Por otro lado protegemos el aire de forma, que se reducen las emisiones CH₄ (metano), de forma que se reduce el efecto invernadero y la reducción de la deforestación de los bosques al ser un biogás combustible, que posibilita la sustitución de la madera en el uso doméstico. Mejora las condiciones higiénicas a través de la reducción de patógenos, huevos de gusanos y moscas que se producen cuando los desechos orgánicos se vierten al medio ambiente sin control.

Además, el aprovechamiento de la materia orgánica en los biodigestores, reduce el volumen de basura destinada a los rellenos sanitarios. En general, todos beneficios suponen para el sector agropecuario. Un ahorro económico por la sustitución de

energía y el aumento de la producción agrícola y la ganadería por el uso de abonos eficientes.

Ventajas del Uso de Biodigestores

- Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar y diversidad de usos (alumbrado. Cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros).
- Produce biofertilizantes rico en nitrógeno, fosforo y potasio capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.
- Elimina los desechos orgánicos, contaminante del medio ambiente ejemplo (residuos industriales, agrícolas y urbanos)
- La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogás ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos.

Dificultades técnicas de los Biodigestores

- El digestor debe encontrarse cercano a la zona donde se recoge el sustrato de partida y a la zona de consumo.
- Debe mantenerse una temperatura constante y cercana a los 35°C.
- Es posible que, como subproducto, se obtenga SH₂, el cual es toxico y corrosivo.

Parámetros para el diseño del biodigestor

Antes de empezar a diseñar un biodigestor se tiene que tener en cuenta muchos aspectos, entre ellos son:

- Con que fin se va integrar un biodigestor a un beneficio húmedo de café.
- Localización geográfica hay que tener en cuenta de cuanto oscilan las temperaturas en dicho local donde se va diseñar y construir un biodigestor. Este parámetro es uno de los principales aspecto para el funcionamiento del biodigestor ya que con esto depende de los días de retención de los residuos del biodigestor actúan y dan el resultado de producción de biogás.
- Con que materia prima se cuenta para ser dimensionado el biodigestor y hacer un estudio de potencial de biogás.
- El material con que se va construir se tiene que encontrar localmente en el sitio para evitar mayores inversiones de gasto de transporte hasta el sitio de ejecución y construcción de biodigestor.
- Financiamiento del proyecto en este caso sería si la cooperativa “El Polo” R.L. cuenta con el suficiente capital para la ejecución del proyecto.

Información del Municipio

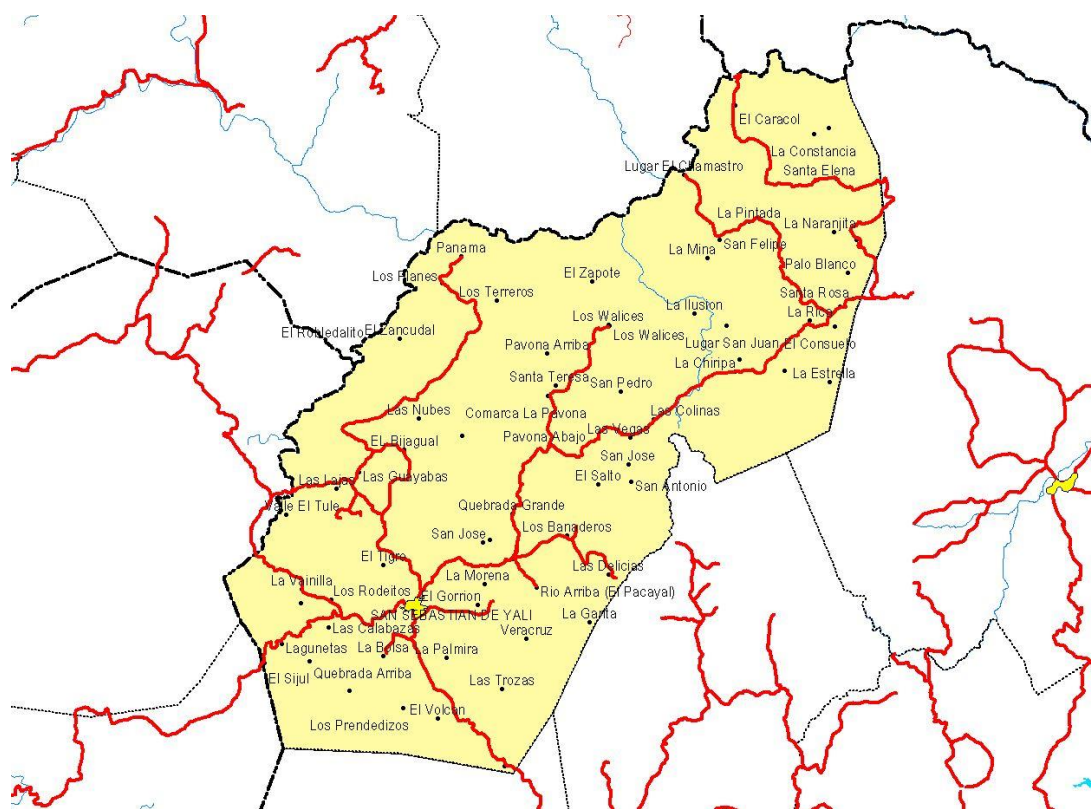


Figura 11. Mapa San Sebastián de Yalí.

San Sebastián de Yalí es un pueblo y un municipio del departamento de Jinotega (ubicado en la frontera con honduras), en la república de Nicaragua, con una superficie territorial de 401km² y a una distancia de 184 km de Managua, su población es de aproximadamente 34 280 habitantes distribuidos en 73 comarcas y comunidades. Yalí limita al norte con los municipios de Telpaneca, San Juan de Río Coco y Quilalí, al sur con el municipio La Concordia, al este con los de Santa María de Pantoasma y San Rafael del Norte, y al oeste con los municipios de Estelí y Condega. El municipio cuenta con un clima sabana tropical de altura, con una temperatura promedio que oscila entre los 21° y 22° C, con una precipitación pluvial anual entre los 2.000 y 2.600 mm.

La parte norte de Yalí es montañosa, en esta parte el punto más alto se encuentra a 988 msnm, debido a las condiciones agroclimáticas de esta zona del municipio tiene excelentes áreas tanto para el cultivo de granos básicos como de musáceas y ganadería.

La parte sur es de topografía irregular, cuenta con un periodo seco de 3 meses, la parte sur como la mayoría de la parte este del municipio poseen las mismas características agroclimáticas (esto abarca alrededor de 20 municipios) es por esto

que además de ser idóneos para el cultivo de café también son aptas para el cultivo de granos básicos, musáceas, papa y tomate.

La parte oeste del municipio posee suelo propios para la producción de granos básicos y ganado, esta zona cuenta con un periodo seco de 5 meses.

En la zona central se produce maíz, frijol y hortaliza en primera, postrera y apante, además posee potencial para la producción de café, ganado, musáceas y caña de azúcar. El periodo seco es de 4 meses.

La actividad económica más importante es la agropecuaria. Es una zona totalmente dedicada al cultivo del café y la producción de ganado, desde tiempos antiguos, esta actividad atrajo a su asiento a numerosos inmigrantes, más sus condiciones climáticas, su abundante vegetación y su quietud.

En San Sebastián de Yali existen dos cooperativas cafetaleras, (El gorrión y El polo) estas cooperativas están formadas por pequeños a medianos caficultores que venden su café uva a las cooperativa asociadas, luego estas cooperativas se encargan de procesar el café hasta comercializarlo.

Ubicación del beneficio húmedo de la cooperativa "El Polo" R.L.

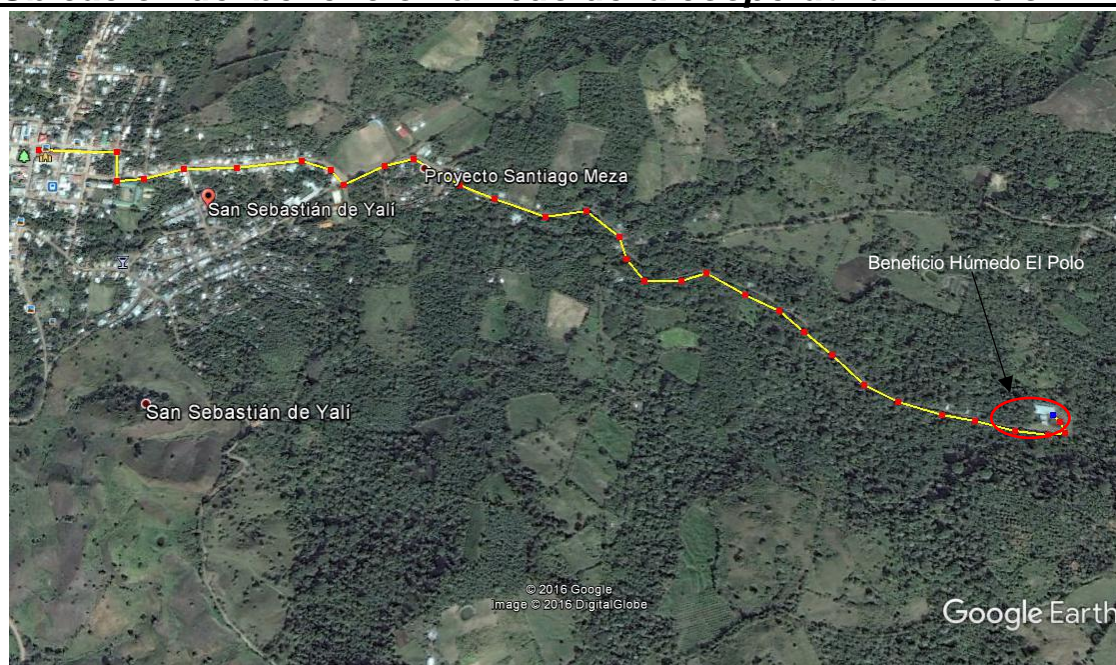


Figura 12. Mapa de Ubicación del Beneficio Húmedo El Polo R.L.



Figura 13. Ubicación del Beneficio Húmedo.

El beneficio húmedo de la cooperativa EL POLO R.L. está ubicado en la comunidad El Gorrión a 2.56km de distancia partiendo del centro de la cabecera municipal, se encuentra entre las coordenadas 13°18'01.77" latitud Norte y 86°09'59.96" latitud Oeste.

Se prevé que si la cooperativa desea poner en práctica el diseño del biodigestor, este será ubicado dentro de este mismo terreno perteneciente a la cooperativa.

Este terreno es propiedad de la cooperativa El Polo R.L. y está destinado para servir como centro de acopio y realizar el proceso de beneficiado.

Maquinaria y proceso de beneficiado

Maquinaria

El proceso de beneficiado es llevado a cabo por medio de motores accionados por un sistema de control manual. Cuentan con un aproximado de siete (7) motores, un (1) generador eléctrico y una (1) bomba de agua sumergible.

A continuación se detalla de forma breve las características más importantes de los motores del beneficio:

Motor	HP	kW	RPM	Hz
Motor #1 (maquinas despulpadoras)	7 ½	5.55	1755	60
Motor #2-5 (colochos)	2	1.5	-	60
Motor #6 (Criba)	1	0.75	1740	60
Motor #7 (canal para el lavado del café)	1 ½	1.11	1700	60

Tabla 9. Descripción de maquinaria de la planta despulpadora.

Fuente: Propia.

Las características del generador eléctrico y la bomba sumergible se muestran en el siguiente cuadro:

Generador Eléctrico	56.3 kVA	45kW	220/127V	3F	60Hz
Bomba Sumergible	3HP	19.2A	220V	3F	1750 RPM

Tabla 10. Descripción de bomba sumergible.

Fuente: Propia.

El accionamiento de control manual está conformado por los siguientes contactores y guarda motores, todos marca Siemens:

CONTACTORES	kW	V	Hz	P
3RT2027-1AL20 (2 unid)	15	230	60	3
3RT2024-1AK60 (1unid)	5.5	110/120	50/60	3
3RT2038-1AL20 (1unid)	37	230	50/60	3
3RT2028-1AL20 (1unid)	18.5	230	50/60	3

Tabla 11. Descripción de los contactores

Fuente: Propia.

GUARDAMOTOR	Amp	kW	P
3RV1031-4EA10 (2unid)	22...32	15	3
3RV1021-4BA10 (2Unid)	14...20	7.5	3
3RV1011-1JA10 (1Unid)	7...10	4	3

Tabla 12. Descripción de guardamotores.

Fuente: Propia.

Este sistema aumenta la efectividad en ahorro de tiempo y mano de obra, es por esto su importancia en un beneficio húmedo de mediano tamaño como este.

A como se podrá notar el generador con el que cuenta la cooperativa es de 45kW a pesar de que la carga total del beneficio es de 15.65kW por lo tanto está sobredimensionado, el proyecto está basado en este generador pues es con el que ya cuenta la cooperativa para el beneficio y no se puede reemplazar ya que fue

comprado apenas hace dos años, por lo tanto para dar una solución a este sobredimensionamiento se recomienda a la cooperativa crear un programa social en donde se le suministre energía eléctrica a los productores de la comunidad en donde está ubicado el beneficio (comunidad El Gorrión), estos cuentan con beneficio húmedo y representaría un ahorro importante para ellos en la factura de energía eléctrica.

Proceso de beneficiado

El proceso de beneficiado es el tradicional, primeramente se recepciona el café, que es llevado por los caficultores asociados a la cooperativa, en el centro de acopio del beneficio. Este fruto recepcionado es vertido en una tolva metálica ubicada arriba de las cuatro (4) maquinas despulpadoras, luego estas despulpan el café que es accionada por medio de un motor; el fin de despulpar el café es remover las cascara del fruto y separarlos.

El café despulpado es separado de forma mecanizada a través de una maquina llamada criba, que se encarga de separar los frutos sin despulpar y la pulpa del café despulpados de los granos de café. La pulpa de café es separada del siguiente parte del proceso para ser recepcionada en un almacén destinado para la pulpa, su separación se realiza por medios de colochos metálicos que giran al contrario de las manecillas del reloj.

Después de este proceso se coloca el café pergamino despulpado en cuatro (4) pilas de fermentación con el fin de remover el mucilago del grano de café luego de cumplir su periodo de fermentación, este periodo es de 24 horas.

Cumplidas las 24 horas se procede al lavado del café, se liberan los granos de café pergamino de la pila de fermentación por medio de compuertas, viajan a través de canaletas gracias a un motor, para luego ser llevadas a un canal donde se procede a lavar; cabe destacar que en el beneficio húmedo de la cooperativa se reutiliza el agua del lavado hasta 3 ciclos continuos, esto con el fin de tener menos carga contaminante y por lo tanto ser amigables con el medio ambiente a como lo requiere la certificación Comercio Justo.

Luego de ser lavado el café pergamino mojado para separar el mucilago del grano, este es transportado para ser comercializado.

Hasta el momento se conoce que dentro de este proceso de beneficiado, la cooperativa almacena la pulpa del café hasta un periodo de tres (3) meses, periodo que aproximadamente tarda la pulpa en descomponerse y perder los agentes contaminantes, luego la pulpa descompuesta es volcada dentro del terreno de la cooperativa sin fin alguno. Las aguas mieles cumplen con un proceso de filtración para ser tratadas y luego ser vertidas en pozas de agua ubicadas dentro del mismo terreno del beneficio.

A como se podrá notar, los desechos del café no son utilizados; por tal razón la cooperativa es un perfecto candidato para sacarle provecho a estos desechos con la instalación de un biodigestor.

Selección y Diseño del Biodigestor

Los principales requerimientos para un buen diseño de estos sistemas son los siguientes:

- El diseño debe ser simple tanto para la construcción como para la operación y el mantenimiento.
- Se deben utilizar materiales que estén disponibles localmente. Emplear un tipo de material resistente a la corrosión, con propiedades de aislamientos efectivas.
- El tiempo de vida útil de la planta es muy importante por eso se debe construir plantas con tiempo de vida durable, aunque esto también repercute en el costo de la inversión inicial.
- Implementar dispositivos de seguridad.
- Implementar el control en la disposición y uso del afluente.
- Recepción apropiada de residuos e instalaciones de carga a digestor, tanque de carga, dispositivo de mezcla, almacenamiento de biogás y tanque de descarga.

Factores Utilitarios

- Función principal, si se construye de manera experimental, demostrativo o productiva.
- Tipo de uso sanitario, energético, fertilizante, integral.
- Organizativo si el biodigestor se va a construir a escala doméstica, para grupo familiar o comunitario o empresa.
- Capacidad, si es pequeño de 3 a 12 m³ digestor, si es de 12 a 45 m³ digestor y si es grande de 45 a 100m³.

Calculo del Biodigestor

De acuerdo a los parámetros estudiados anteriormente en este documento, seleccionamos el modelo de biodigestor tipo hindú (domo flotante) ya que dentro de sus características se tiene que la presión es constante lo que permite una operación eficiente de los equipos que alimenta, además presenta una buena eficiencia de producción de biogás. Es ideal para la construcción en la zona norte del país debido a que es una zona con un clima fresco. En general su construcción es de forma enterrada verticalmente.

Para determinar el diseño de un biodigestor, se emplean las siguientes formulas:

Tiempo de Retención

El posible tamaño del digestor (volumen del digestor) es determinado por el tiempo de retención (TR) y por la carga diaria. Se recomienda escoger el TR apropiado de acuerdo a la temperatura promedio del sitio en el cual va a operar, utilizando la relación generada en la siguiente ecuación

$$TR = (-51.227 * \ln(T^{\circ}C) + 206.72) \quad (6)$$

Donde,

TR= Tiempo de retención en días

Ln = logaritmo Natural

T°C= temperatura promedio en grados centígrados del sitio donde se instalara el biodigestor

Sabemos que la temperatura de San Sebastián de Yali oscila entre los 21 y 22°C máximo, en base a la temperatura máxima se realiza la siguiente ecuación:

$$TR = (-51.227 * \ln(22^{\circ}) + 206.72) = 48 \text{ días}$$

Volumen del Digestor

$$Vd = C * TR * 1.2 \quad (7)$$

Donde Vd= volumen del digestor,

C= carga diaria para alimentar el digestor

TR= tiempo de retención en días

1.2= volumen adicional para el almacenamiento del biogás

Para realizar el cálculo del volumen del biodigestor, se tomó el valor generado en la Tabla No. 5 de datos de producción de pulpa de café, del último año, donde se muestra el valor de carga generada de pulpa de café del beneficiado húmedo de la cooperativa "El Polo" R.L. siendo de 395.63 Kg/ día.

$$\begin{aligned} Vd &= 395.63 \text{ kg/día} * 48 * 1.2 \\ &= 14812.38 / 1000 \\ &= 22.78 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Producción de biogás

Experimentos han demostrado que un biodigestor es capaz de producir biogás entre 0.3 y 0.4 m³ entonces suponemos que nuestro biodigestor es capaz de generar biogás en cantidades de:

$$PG = 0.3 * 22.78 = 6.8 \text{ m}^3 \quad (8)$$

$$PG = 0.4 * 22.78 = 9.11 \text{ m}^3$$

Según estudios 1Kg de pulpa de café fresca reporta un rendimiento de 25 Litros de biogás en un digestor ^[10].

Según otros estudios realizados 1 tonelada de pulpa de café sometido a un proceso anaeróbico genera 131 m³ de biogás ^[11]

Para determinar el volumen de pulpa con sé que va cargar el biodigestor, de 14.81 m³ se realizó de la siguiente manera.

El cálculo teórico fue tomado de la siguiente fuente: Gautho et al., 1991, Pandey et al, 2000, Marro et al, 2013, Corro et al, 2013, Ye et al, 2013 López, 2014,

Volumen del tanque: 22.78m³

$$\text{Volumen de pulpa: } 22.78 \text{ m}^3 \times \frac{60\%}{100\%} = 13.66 \text{ m}^3 \quad (9)$$

$$\text{Cantidad de pulpa: } 13.66 \text{ m}^3 \times 400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 5,464 \text{ kg} \quad (10)$$

Cantidad de pulpa 5,464 kg

131m³ Biogás equivale a 1000 kg pulpa de café

$$x = \frac{5464 \text{ kg} \times 131 \text{ m}^3}{1000 \text{ kg}} = 715.78 \text{ m}^3 \text{ Biogás} \quad (11)$$

Se recomienda que la pulpa de café antes de ser introducida al biodigestor sea picada/triturada, para una mejor generación de biogás. Al mismo tiempo tiene que combinarse con bacterias en este caso usamos excremento de cerdo, el cual es un desecho animal con excelentes propiedades químicas. Se utilizó el excremento de cerdo debido a que es de fácil adquisición ya que a aproximadamente 6km del beneficio húmedo se encuentra una granja porcina de aproximadamente 15 cerdos.

Para este caso primeramente se introducen las bacterias al digestor y luego la pulpa de café en un tanque cerrado totalmente, sin acceso a oxígeno para que se produzca un ciclo anaeróbico.

Ahora determinamos el volumen del excremento de cerdo a usar para el llenado del biodigestor.

1 m³ de excremento de cerdo equivale a 0.5 m³ biogás

Volumen del tanque: 22.78m³

$$\text{Volumen de excremento de cerdo: } 22.78 \text{ m}^3 \times \frac{40\%}{100\%} = 9.112 \text{ m}^3 \quad (12)$$

¹⁰ Los subproductos del café fuente de energía renovable, (2010), Cenicafe.

¹¹ A. pandey et al / Biochemical engineering journal 6 (2000) 153-162

$$X = \frac{9.112m^3 * 0.5 m^3 \text{ Biogas}}{1 m^3} = 4.556 m^3 \text{ Biogás} \quad (13)$$

Entonces la producción total de biogás sería

$$715.78 m^3 + 4.556 m^3 = 720.336 m^3 \text{ biogás} \quad (14)$$

Luego de haber realizado los cálculos correspondientes podemos determinar que el volumen de biogas que se estará generando es de 6.8 a 9.1 m³.

Según un promedio de inversión de construcción de un biodigestor de 22.78 m³ tiene un costo de **\$4,000** ^[12].

Determinación Kilowatts-hora

En base a la bibliografía consultada de Polpraset, 1989; Bui Xual An et al, 1996 se conoce que:

$$1m^3 \text{ de biogás consumido produce } 1.25kW/h$$

Entonces realizando el cálculo tenemos que:

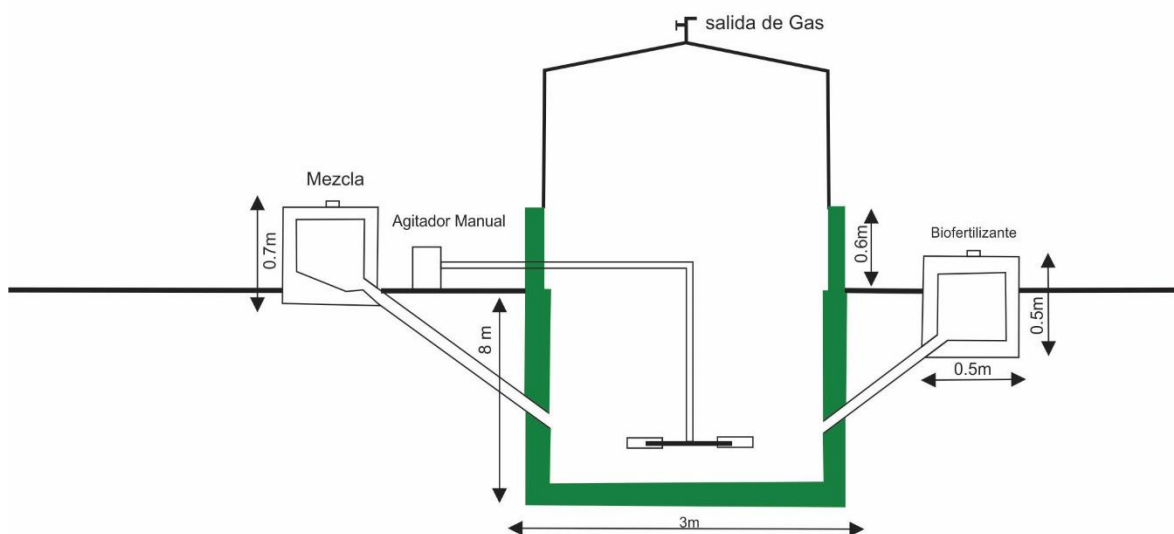
$$\frac{720.34m^3 * 1.25 kW/h}{1m^3} = 900.425 kW/h \text{ por cosecha}$$

El biodigestor de 22.78m³ producirá un aproximado de 900.425 kW/h

¹² El Biol Nicaragüense (2016).

Plano del biodigestor tipo Domo Flotante

Vista Lateral



Vista de planta

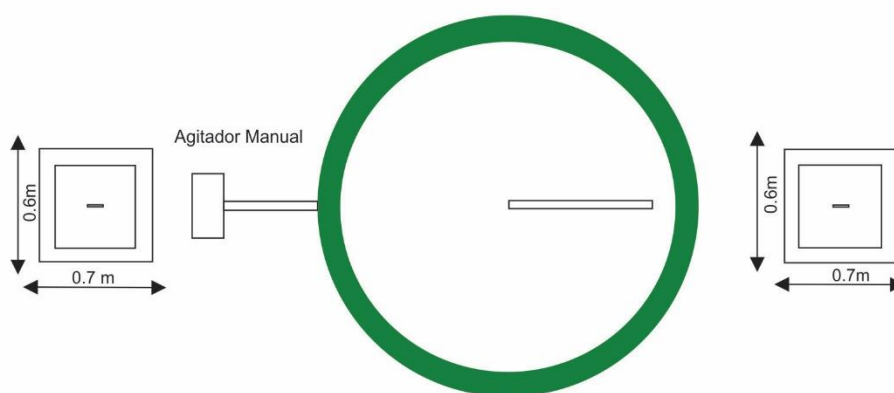


Figura 14. Plano del Biodigestor tipo Domo Flotante.

Capítulo #3

Cultivo de café y aplicación de fertilizantes químicos

En el cultivo de café la fertilización es uno de los pilares más importantes para la productividad de la caficultura, siendo así una parte esencial para el buen manejo de una empresa cafetalera. Al revisar los costos de producción para un quintal de café se detecta dentro de los insumos que la fertilización es uno de los rubros más altos. En ese sentido, el caficultor debiera realizar los esfuerzos necesarios para mantener un balance nutricional adecuado en el suelo para que la planta de café pueda expresar su máxima producción anualmente.

Una planta de café en producción necesita 16 elementos esenciales entre los cuales destacan: nitrógeno, fósforo, potasio (conocidos como macronutrientes), además calcio, magnesio y azufre (conocidos como elementos secundarios) más los micronutrientes. La ausencia de uno de estos elementos, cualquiera que sea, influenciaría negativamente en la productividad de la planta.

Hay dos formas de abonar en café: Abono foliar y abono granular.

Los abonos granulares utilizados en algunas fincas del sector son: Ferticafé, Nitro-xtend y 103010. Y los foliares son: Tacre, 101107 y Tecanir.

El abono granular de cada fertilizante es aplicado tres veces por cosecha (en pre producción, producción y post producción), es para mantener la producción. El abono foliar se aplica dos veces de cada fertilizante por cosecha (en producción y post producción) y el fin es asegurar la siguiente cosecha.

A continuación se calcula un aproximado de gastos en fertilizantes foliares

ABONO FOLIAR	COSTO (C\$)	Costos Multiplicado por 2 ^[13] (C\$)
TACRE	200	400
101107	150	300
TECANIR	120	240
TOTAL	470	940

Tabla 13. Gastos de Fertilizantes foliares.

Fuente: Propia.

Para el abonado granular, se utilizan aproximadamente 3qq por fertilizante por aplicación. Se calculan los precios en base a los fertilizantes Ferticafé, Nitro-xtend y 103010.

¹³ Número de veces que es abonado el café por cosecha

ABONO GRANULAR COSTO GENERAL (C\$)	Costos (C\$) Multiplicado por 3 ^[14]
6000	18000

Tabla 14. Gastos de fertilizantes granular.

Fuente: Propia.

Estos datos fueron facilitados por la experiencia del productor Odell Valenzuela de la finca Veracruz ubicada en la comunidad El Tule, Condega, Estelí.

Comparación del biol versus el fertilizante químico

Fertilizante químico	Biol
Gran velocidad de absorción de nutrientes por la planta	La planta absorbe nutrientes más lentamente
los nutrientes no se acumulan	Efecto acumulativo de los nutrientes
Contaminación ambiental por la lixiviación excesiva de nutrientes	Mínima contaminación
Alto costo económico y social por dependencia de otros países	Beneficio económico y social

Tabla 15. Comparación de biol vs fertilizantes químicos.

Fuente: Ing. Alcides Duarte construcción e instalación de biodigestores.

Consumo de combustible del generador eléctrico

Generador CAT DE50E0

El generador eléctrico del centro de despulpe de la cooperativa es únicamente, utilizado para accionar las maquinarias que despulpan el café uva. Este generador eléctrico es alimentado por diesel y este solo entra en funcionamiento por el tiempo de la temporada de cosecha.

El tanque almacenaje de gasolina del generador es de 200 litros, por una hora de trabajo consume 3.17 litros de diésel. En el beneficiado de la cooperativa se trabaja normal 4 horas al día, en tiempos de mayor producción de café se trabaja alrededor de 9 hora al días con un consumo total de combustible al día 28.53 litros.

Entonces: 1 barril de gasolina = **153 Lts**

Precio del litro de diésel = **C\$23.63**

¹⁴ Número de veces que es abonada el café por cosecha

La planta despulpadora trabaja 7 días a la semana lo cual nos lleva un consumo total de 199.71 litros de diésel.

Por lo tanto, 30 días de trabajo en la despulpadora consume un promedio de 855.9 litros de diésel.

Entonces 855.9 litros de diésel x C\$23.63= C\$20,224.91 (15)

En promedio el beneficio húmedo de la cooperativa trabaja 90 días en la despulpadora, en base a esto se calculó el promedio de gasto total, siendo:
90 días x 28.53 litros consumo día promedio= 2567.7 litros de diésel por temporada

2567.7 litros de diésel x C\$23.63=C\$60,674.75 (16)

Beneficios

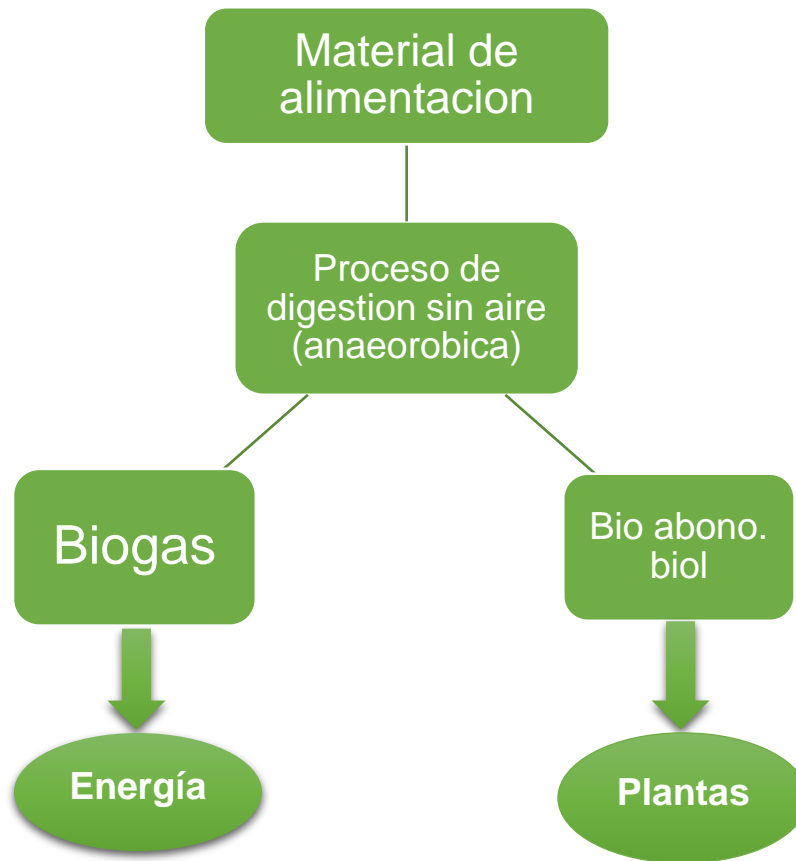
La cooperativa “El polo” R.L. se encarga de recibir el fruto maduro, de los medianos y pequeños cafetaleros, la mayoría de estos hacen uso de fertilizantes químicos. La cooperativa busca una mejor opción y beneficios para los cafetaleros, con opciones que tanto ellos como la propia cooperativa obtenga ganancias.

El diseño del biodigestor se realizó con el fin de usos energéticos para la planta de despulpado de la cooperativa, con el objetivo de necesitar menos combustible. Los beneficios directos al diseñarse este biodigestor es abono orgánico para los caficultores. Por otro lado el biogás producido por el biodigestor será usado para el generador eléctrico con una combinación de gasolina-biogás.

¿Cómo se produce el biol?

El biol se produce de dos formas, sólida y líquida. El biol en forma solida es conocido como biosol y se obtiene cuando se descarga o limpia el biodigestor o por filtración separación de la parte sólida y líquida del efluente. El biol en forma líquida es conocido abono foliar.

Proceso de digestión para obtener el biol



Esquema 4. Proceso de digestión para la obtención de biol.

Condiciones para obtener el biol

La fermentación es más rápida en la estación de verano, y un poco más lenta en la estación de invierno, esto debido a las variaciones de temperatura que presentan en cada temporada. Para que se genere una mayor producción de biogás, en promedio las temperaturas deben oscilar entre 33-37°C para una mayor concentración de producción de biogás y al mismo tiempo genere biol.

Otro factor que incide en la digestión, es el grado de acidez que afecta la reproducción de las bacterias y la fermentación de la materia orgánica. El 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma a biol.

Principales funciones del biol

La función del biol es promover la actividad fisiológica y el desarrollo de las plantas. Todo esto contribuye a mejorar la productividad de los cultivos y sus principales funciones son.

- ✓ Fortalece la floración
- ✓ Incrementa el follaje
- ✓ Activa el vigor de las semillas
- ✓ Acciona sobre la raíz
- ✓ Mejora la estructura del suelo
- ✓ Permite un mejor intercambio de nutrientes

Composición del Biol

pH	%Nitrógeno(N)	%Fosforo(P)	%Potasio (K)
7.55	2.4204	0.0015	0.0106

Tabla 16. Aporte de nutrientes del Biol y su Ph.

Fuente: Manual del productor/a en usos y beneficios del biol 2da edición, (2014), Biogás Nicaragua.

Usos del Biol

Por su composición orgánica el biol puede utilizarse como:

- Abono liquido en las plantas bin anuales y perennes: en cultivos de gramíneas, forrajes, leguminosas, frutales, raíces tuberculoso, plantas ornamentales y pasto. Se aplica con bomba de aspersora de mochila o motor.
- Aplicaciones por sistema de riego
- Aplicaciones directas al suelo, para recuperar suelos salinos, ácidos, arenosos o arcillosos. La aplicación se realiza al surco entre planta y planta con balde o regadera.
- Aplicaciones a las semillas para protegerlas de patógenos.
- Aplicación en conjunto con fertilizantes químicos cuando sea necesario
- En compost con diferentes materiales orgánicos. Para utilizar en compost se necesita 1 parte de biol 4 partes de residuos orgánicos.
- Alimento para las lombrices de tierra, el cultivo de hongos, germinación de semillas viveros forestales, etc.
- Alimentos para peces.

Beneficios sociales y ambientales del Biol

- ✓ Elimina los malos olores y moscas en el torno del ambiente y disminuyendo enfermedades.
- ✓ Evita la contaminación del agua al sustituir el uso de agroquímicos por biol.
- ✓ Se elimina el riesgo de intoxicación por el uso de agroquímicos.
- ✓ Se evita la contaminación ambiental y contribuye a eliminar los gases (GEL)

Aplicaciones del biol en los cultivos

Cultivo	Dosis
Plátanos	20 litros /planta, 2 veces al año
Yuca	7 a 28 toneladas/mz
Maíz	7 toneladas/mz
papa	7 toneladas/mz
Arroz	28 toneladas/mz
Sorgo	10 a 14 toneladas/mz
Repollo	10 toneladas/mz
Chile	7 toneladas/mz
Pepino	7 toneladas/mz
Berenjena	7 toneladas/mz
Cebolla	7 a 14 toneladas/mz antes de la siembra
Rábano	7 a 14 toneladas/mz
Tomate	14 toneladas/mz más 45 kg N, 60 kg y 30 kg k/ha
Papaya	7 toneladas/mz en regadío y 3.5 toneladas/mz en seco
Café	7-14 toneladas/mz 20 litros/planta

Tabla 17. Aplicaciones del biol en cultivos.

Fuente: Manual del productor/a en usos y beneficios del biol 2da edición, (2014), biogás Nicaragua.

Producción de biol según el tamaño del biodigestor

PRODUCCION DE BIOL SEGÚN EL TAMAÑO DEL BIODIGESTOR			
Tamaño del Biodigestor m ³	Biodigestor Domo Flotante		
	Lt/día	Lt/mes	Lt/año
4	84	2520	30240
6	98	2940	35280
9	140	4200	50400
13	210	6300	75600
27	420	12600	151200

Tabla 18. Producción de biol.

Fuente: El biol nicaragüense, (2016), Biogás Nicaragua.

En nuestro caso la dimensión de nuestro biodigestor es 22.78 m³.

Entonces se realizó la siguiente relación para determinar cuánto biol será generado por día por el biodigestor. Seleccionamos los últimos valores de la Tabla No. 18 (Producción de biol) para sacar el promedio de biol de nuestro biodigestor de la siguiente manera:

$$\text{Litros de biol} = \frac{22.78 \text{ m}^3 \times 420 \text{ lt}}{27 \text{ m}^3} = 354 \text{ lt biol} \quad (17)$$

- **Producción de biol por mes:**

Entonces la producción de biol por mes sería:

$$354 \text{ lt biol} * 30 \text{ dias} = 10,620 \text{ lt biol} \quad (18)$$

- **Producción de biol total por cosecha:**

$$= 10,620 \text{ lt biol} * 3 \text{ meses} = 31,860 \text{ Lt biol cosecha} \quad (19)$$

El biol puede ser vendido a \$3.13^[15] (C\$105) el barril, cada barril contiene 153 litros, realizando los cálculos se podría obtener una ganancia de \$651.77 por cosecha en 208.23 barriles que equivalen a los 31,860 litros antes calculados en la ecuación (19).

Es debido recordar que el biodigestor solo estará en operación 3 meses (periodo de cosecha), luego saldrá de operación una vez finalizado el periodo de producción y corte de café. El efluente interior del biodigestor en este caso lodo será removido, siendo este efluente muy rico en minerales para el suelo y puede ser utilizado como compost en las hectáreas de café.

En la siguiente tabla se presenta nutrientes que aportan el Biol en varios cultivos agrícolas:

Nutrientes aportados por el Biol			
Cultivo	Cantidad de nutrientes aportados		
	Nitrógeno Lb	Fosforo Lb	Potasio Lb
Plátano	0.46	0.08	0.12
Yuca	85.5-332.6	14.3-55.6	22.1-86.2
Maíz	85.5	14.3	22.1
Papa	85.2	14.3	22.1
Arroz	332.6	55.4	86.2
Sorgo	118.8-176	20.-30	31-46.2
Repollo	166.3	27.7	43.1
Pepino	130.6	21.8	33.9
Cebolla	85.5	14.3	22.1
Tomate	166.3	27.7	43.1
Papaya	85.5	14.3	22.1
Café	85.5-166.3	14.3-27.7	22.1-43.1
Pasto	166.4-332.6	27.8-55.4	43.2-86.2
Cacao	85.5-166.3	14.3-27.7	22.1-43.1

Tabla 19. Nutrientes aportados por Biol.

Fuente: El biol Nicaragüense, (2016), Biogás Nicaragua.

¹⁵ Estudio de factibilidad técnico y económico (julio 2016). Sistema de biogás productivo finca San Ramon de la cooperativa multisectorial El Rey, R.L. (COMMUREY). Biogas Nicaragua.

En este caso los beneficiados directos con este biol, son los caficultores de la cooperativa, ya que sus costos de compra de fertilizantes químicos reducirán considerablemente al usar este fertilizante orgánico ya que al cultivar un café con fertilizantes orgánicos se puede vender el café a precios un poco más elevados y esto mejoraría el capital económico del caficultor.

Biosol

El biosol es el resultado de separar la parte sólida del fango resultante de la fermentación anaeróbica dentro del biodigestor el biosol puede alcanzar entre 25% a solo 10% de humedad su composición depende mucho de los residuos que emplean para su fabricación.

Generalmente el biosol se aplica en el campo de la misma manera que se utiliza el compost sin embargo la dosificación varía. Las cantidades de biosol usualmente empleadas se encuentran entre 2 a 4 toneladas por hectárea, también se puede incluir el biosol en la preparación del suelo antes de colocar las semillas, en este caso deberá ser colocado a una profundidad entre 10-20 cm. Luego de la germinación y crecimiento de la planta se puede seguir abonando el suelo con biosol, el cual puede ser reforzado con fertilizantes químicos.

Componentes	%
Agua	15.7
Sustancia orgánica seca	60.3
pH	7.6
Nitrógeno total	2.7
Fosforo (P ₂ O ₅)	1.6
Potasio (K ₂ O)	2.8
Calcio (CaO)	3.5
Magnesio (MgO)	2.3
Sodio (Na)	0.3
Azufre(S)	0.3
Boro (B)	64.0

Tabla 20. Características generales del biosol fresco (fertilizante sólido).

Fuente. Aparcana, S (2005).

Sustrato	Materia seca	Materia seca orgánica	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Guano de vaca (input)	6.6	80	6.2	2.7	4.3	0.9
Biol +Biosol a partir del guano de vaca	4.0	65	8.6	4.1	7.3	0.4
Biol + Biosol a partir de residuos de vegetales (frutas verduras, etc.	2.9	60	11.1	2.0	5.2	1.6

Tabla 21. Composición de nutrientes del estiércol de vaca comparado con la mezcla de Biol + Biosol de fermentación del estiércol de vaca y de la fermentación del estiércol de vaca y de la fermentación de estiércol y residuos vegetales (% en peso de materia seca)

Fuente: Manual de biogás (2003).

Ventajas del uso del biosol

- Hace regular la alimentación de la planta. Los cultivos son fortalecidos y ocurre una mejora en los rendimientos. Permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez a calidad del miso.
- Confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión mejorando con ello la retención de los nutrientes del suelo.
- Mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de la humedad del mismo, esto favorece la actividad biológica en el suelo. Mejora la porosidad y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- Puede ser combinado con la materia que va ser compostada, con el fin de acelerar el proceso de compostaje.

Habiendo conocido un poco sobre el biosol procedemos a calcular la producción de este que generaría el biodigestor de la cooperativa:

En promedio un biodigestor genera 21.82 kg/ día de biosol.

El tiempo en funcionamiento del biodigestor será de 90 días (temporada de cosecha)

Entonces $21.82 \text{ kg/día} * 90 \text{ días} = 1963.8 \text{ kg de biosol}$ (20)

El biol y biosol son biofertilizantes orgánicos con un alto potencial de nutrientes mostrados, en la tablas anteriores y con una aplicación fácil al suelo y a la plantas lo cual nutren y fortalecen un gran rendimientos de producción. Esto contrae grandes beneficios a los socios caficultores de la cooperativa lo cual son los beneficiados directos.

El biol Nicaragüense

La economía nicaragüense depende en gran parte de la agricultura y la producción de biogás puede ayudar a los productores agropecuarios y hogares rurales a satisfacer sus necesidades energéticas. El biogás es una solución importante a la actual crisis energética, porque es una tecnología ambientalmente limpia, se obtiene abono de excelente calidad y contribuye a la reducción de la descontaminación de los hogares y conversa del medio ambiente.

El uso de un sistema de biodigestion para producir biogás ofrece múltiples beneficios: se logra ahorro en consumo energético (gas, leña, electricidad, gasolina), ahorro en costos de fertilizantes químicos, potencial ingreso por medio de la venta del biol (biofertilizante), incremento de los rendimientos agrícolas y mayor volumen de forrajes hay posibilidad de percibir ingresos por créditos de carbono, se disminuye la carga de trabajo doméstico.

En Nicaragua, la agricultura orgánica alcanza casi 100 mil manzanas en diferentes rubros, siendo los más importantes el café, el cacao y el ajonjolí. El uso de los abonos orgánicos se ha generalizado porque disminuye los costos de producción y tiene efectos positivos en los suelos y el medio ambiente. También la producción orgánica tiene más valor en el mercado.

Entre los beneficios al medio ambiente tenemos la disminución de la tala de bosques al reducir el uso de leña para cocinar, disminución de contaminación de aguas subterráneas y superficiales al dejar de descargar los desechos a las fuentes de agua disminución de la emisiones de GEI que promueven el calentamiento global, al capturar y quemar el metano, etc.

Unidad Generadora de energía eléctrica por medio de biogás y diésel

Generadores a diésel

Los generadores a diésel, se pueden operar con una sustitución del diésel hasta un 70% y un consumo de diésel del 30% restante por lo que el motor no sufre ninguna alteración al consumir los tipos de combustibles al mismo tiempo.

En estos generadores la mezcla de diésel y biogás se realiza directamente en la de combustión del generador. Cuando el generador recibe el biogás por la entrada de aire, se acelera por lo que el gobernador de la bomba de inyección reduce la cantidad de diésel suministrado a la cámara de combustión, logrando una estabilidad en la aceleración y potencia del generador. Estos generadores soportan las variaciones de carga sin tener que operar la válvula de regulación del biogás permitiendo operar en un rango más amplio de carga.

La mayoría de los generadores diésel pueden ser modificados para su operación con biogás. En muchos casos, arreglo más sencillo es el de conectar un tubo del suministro de biogás directamente al tubo de admisión de aire de generador, después del filtro en la figura se muestra el esquema de la modificación para generador diésel.

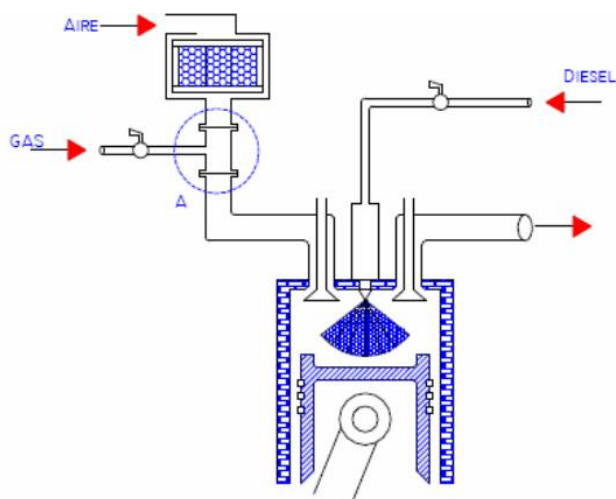


Figura 15. Modificación para generador diésel.

Fuente: Tecnología de generación de energía eléctrica a partir de biogás.

Al aumentar el nivel de sustitución de biogás a más de 60% se tiene una reducción de la eficiencia promedio respecto al generador diésel de entre 3 y 10% para asegurar una operación satisfactoria con combustible dual H_2S del biogás deber ser removido.

Generadores a Diesel

El generador a gasolina puede ser operado con biogás realizándole una simple adaptación, que consiste en colocar entre el filtro del aire y carburador una "T" por donde suministra el biogás al sistema.

Se debe de tener en ciertas consideraciones para que un generador a gasolina, alimentado con biogás opere satisfactoriamente:

- Evitar el paso de gasolina cuando el generador va operar o está operando con el fin de evitar un gasto innecesario de combustible. Para lograrlo se debe de colocar una válvula para controlar el paso de la gasolina al carburador.
- Garantizar un suministro de biogás a presión constante.
- El filtro del aire debe mantenerse limpio para mantener una constante relación entre la mezcla de biogás y aire que nos garantice una operación estable del generador.
- Colocar una válvula para controlar la admisión del gas al generador.

Al ser alimentado con biogás, directamente al múltiple de admisión el generador no permite una regulación automática de la mezcla y la carga, por lo que el ajuste del generador se debe de realizar de forma manual desde la válvula de control del biogás, colocada en la línea de admisión.

Se recomienda que las cargas aplicadas sean constantes, para evitar los problemas de regulación del generador.

Para el caso de cargas variables, el flujo de gas hacia el generador se debe regular con un sistema de control especialmente diseñado, que garantice que el flujo del gas que se inyecte en el generador pueda responder a las diferentes demandas de potencia debido a las variaciones de carga eléctrica provocada por el constante entrar al salir de carga

Generador CAT DE50E0

La cooperativa acciona su sistema de despulpadora con un generador **CAT DE50E0** con un tanque de almacenamiento de 200 litros diésel. Para que este generador eléctrico accione con biogás se tiene que tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. Verificar la presión del biogás
2. Cuando el generador arranque deberá ser inyectado con diésel de 3 a 5 minutos esto dependiendo de las condiciones ambientales.
3. Luego se abre la válvula de biogás, la entrada de biogás debe de ser gradualmente y esperar a que el generador se estabilice. Esto debe realizarse lentamente con la válvula de suministro ya que así se evitara que el generador succione demasiado biogás y se detenga por una mezcla aire y biogás.

4. Habiendo pasado este proceso el generador trabajará en una relación 70/30, 70% de biogás y 30% de diésel.



Figura 16. Generador CAT DE50E0 del beneficiado húmedo “El POLO” R.L

Análisis Económico

Para determinar qué tan rentable es la generación de electricidad por medio de biogás se realizó un análisis económico, de cuanto se puede ahorrar la cooperativa “El POLO” R.L. en la compra de diésel para alimentar el generador eléctrico de diésel mezclándolo con biogás. El gasto de diésel es aproximado de **C\$60,674.75** por cosecha de café.

En este caso la sustitución de biogás, va ser un 70% y 30% restante de diésel esto con el fin de evitar daños al generador, si sustituimos el 100% a biogás al generador eléctrico esto ocasionaría daños, lo cual no es rentable sería una pérdida al no poder despulpase el café y un mayor costo de reparación al generador en caso de repararse.

A como conocemos el tanque de almacenamiento del generador es de 200 Lts

*Entonces $200\text{Lts} * 70\% = 140 \text{ Lts biogás}$* (21)

*$200\text{Lts} * 30\% = 60 \text{ Lts diésel}$* (22)

El consumo semanalmente de diésel en el beneficio húmedo es 199.7 litros de diésel.

Con la mezcla de biogás el consumo de diésel será menor, con un promedio de 60 litros de diésel semanal.

Entonces $60 \text{ litros} / 7 \text{ días de trabajo} = 8.5 \text{ litros de diésel/día}$. (23)

Ahora 8.5 litros / 9 horas de trabajo al día = 0.94 litros de diésel/hora. (24)

En promedio 0.94 litros de diésel por hora será alimentado por diésel el resto del consumo del generador sería por biogás.

El consumo actualmente, de diésel en la cooperativa “El POLO” R.L. es de 2567.7 litros diésel por cosecha. El consumo por día es 28.53 litros diésel con una compra semanal de 200 litros, de diésel con una inversión de C\$4726 semanalmente y a continuación se presenta los siguientes gastos:

Gasto por mes= **C\$20,224.91**

Gasto total = **C\$60,674.75**

Consumo de diésel por mes = 855.9 litros de diésel

Consumo total de diésel= 2567.7 litros de diésel

Consumo de diésel mezclado con biogás para el generador eléctrico

Generador CAT DE50E0

En el cálculo anterior se demostró que el consumo de diésel mezclado con biogás es de 8.5 litros de diésel/día.

Entonces 8.5 litros de diésel x 30 días = 255 litros de diésel (25)

Consumo de diésel por cosecha= 255lts diésel 3 meses* (26)

Consumo de diésel por cosecha= 765 litros de diésel

En el siguiente cuadro se presenta el ahorro de capital al usar biogás como combustible:

CALCULO DE AHORRO DE DIESEL ADAPTANDO BIOGAS AL GENERADOR		
Tiempo de trabajo	Consumo de diésel en Lts	Consumo de diésel mezclando Biogas
Mes 1	855.9	255
Mes 2	855.9	255
Mes 3	855.9	255
Total	2567.7	765
Total/C\$	60,674.751	18076.95
Ahorro/ C\$		42,597.801

Tabla 22. Ahorro de capital utilizando biogás.

Fuente: Propia.

El gasto total por cosecha en la compra de diésel es de C\$60,674.75, utilizando biogás como combustible pasó hacer mejor el costo económico, esto conlleva un gran beneficio a la cooperativa, es por esto que es muy factible la implementación del sistema de un biodigestor para el beneficiado húmedo "EL POLO" R.L. ya que representa un beneficio directo, económico y ambiental para la cooperativa debido a que hace usos de los residuos generados de la obtención del grano oro de café.

Adaptación de filtro para la purificación del biogás

La mayoría de los generadores diésel pueden ser modificados para su operación con biogás. En muchos casos, el arreglo más sencillo es el de conectar el tubo del suministro de biogás directamente al tubo de admisión de aire de motor, después del filtro. Para asegurar una operación satisfactoria al utilizar biogás, el ácido sulfhídrico (SH_2) del biogás deber ser removido por purificación.

La purificación se justifica en caso de grandes instalaciones, en las cuales el metano podrá comprimirse y ser utilizado. Para instalaciones pequeñas el ácido sulfhídrico debe eliminarse cuando el biogás se utilice para generar fuerza motriz o posteriormente energía eléctrica. De lo contrario el SH_2 se transforma en ácido sulfuroso (SO_2) después de la combustión y luego junto con el agua producida se oxida a ácido sulfúrico (SO_4H_2) muy corrosivo para los metales.

Alternativa 1

El sulfuro puede eliminarse mediante la introducción de limaduras de hierro en la tubería. Cuando el hierro entra en contacto con el biogás, oxida al **ácido sulfhídrico** o sulfuro de hidrogeno y se forma sulfato ferroso como precipitado esta sencilla forma de eliminar el ácido sulfhídrico ayuda a poder hacer un mejor aprovechamiento del biogás.

La aplicación de limaduras de hierro como dicho anteriormente se realiza en la tubería con una cantidad específica de 5 frascos de 100 gramos en total se aplica 500 gramos de limadura de hierro a la tubería en la siguientes imágenes demostrativa se verá el procedimiento.

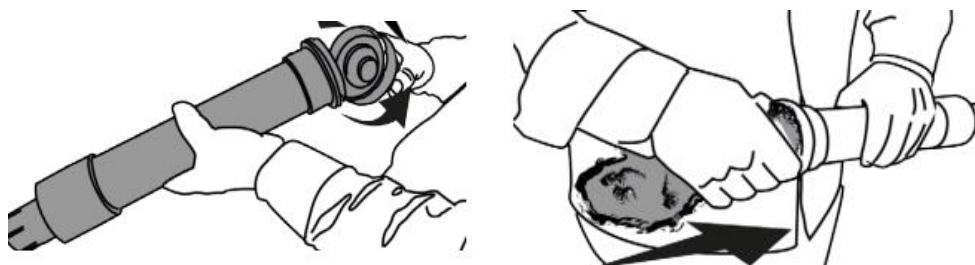


Figura 17. Aplicación de Limaduras de Hierro.

Fuente: Manual de usuario uso y mantenimiento del biodigestor.

En las figuras demostrativas se aprecia cómo se realiza el proceso de aplicar limadura de hierro a la tuberías, la aplicación es anualmente o dependiendo del rendimiento del biogás.

El costo de los frascos de limadura de hierro es \$8.55 dólares americanos
Entonces $\$8.55 \times 5 = \$ 42.75$ sería el gasto anual para la purificación de biogás

Alternativa 2

Hi-Tech purificador de biogás es un sistema de purificación de alta tecnología con un gran rendimiento de eficiencia que reduce las emisiones de ácido de dióxido de azufre, la corrosión de equipos y la acumulación de residuos mediante la eliminación de ácido sulfhídrico (H_2S) del biogás. A su vez transporta el biogás limpio con 99% de impureza limpio para aplicaciones de generación de energía, plantas de cogeneración eléctrica y aplicaciones de calefacción.



Figura 18. Hi-Tech purificador de Biogas.

Fuente: Shenzhen Puxin Technology Co., Ltd

Dimensiones para desulfurador de pellets	5-6-30MM
Contenido de óxido férrico	25%-33%
Densidad	0.85 kg/L
Porosidad	50-60%
Material del tanque	Plástico reforzado
Capacidad de tratamiento de biogás	Menos de 50 m ³ por día
Regeneración	Dos veces
La eficiencia de eliminación de H_2S	Más del 99% por ciento

Tabla 23. Datos técnicos.

Fuente: Shenzhen puxin technology Co., LTD

El costo de inversión de este equipo es \$1600 dólares americanos la única forma de hacer compra de este equipo con la empresa Shenzhen puxin technology Co., LTD en la página www.alibaba.com se comercializan esta gama de equipos de biogás.

Analizando ambas alternativas se recomienda el uso de las limaduras de hierro, estas son más económicas y realizan con buen desempeño su labor. Es de nuestro conocimiento que este tipo de filtros trabajan de excelente manera.

Consumo de biogás por el Generador CAT DE50E0

El biogás es un gas compuesto básicamente por metano (CH₄) entre un 55%-70%, dióxido de carbono (CO₂) y pequeñas proporciones de otros gases. Se produce por la fermentación de la materia orgánica en condiciones anaeróbicas.

La producción de biogás por descomposición sin aire (descomposición anaeróbica) es un modo útil para tratar residuos biodegradables, dado que produce un combustible de valor (el metano), y genera un desperdicio que puede aplicarse como abono genérico o acondicionador de suelo.

De acuerdo a Tabla No.6 (utilización y consumo de biogás) un generador eléctrico consume por hora 0.700 metros cúbicos de biogás. Para determinar el consumo de biogás del generador eléctrico se realiza esta sencilla operación:

$$\text{Consumo de biogás} = 0.700 \text{ m}^3 * \text{tiempo de trabajo del generador} \quad (27)$$

Tiempo de trabajo por día= 9 horas

$$\text{Consumo de biogás} = 0.700 \text{ m}^3 * 9 \text{ horas} = 6.3 \text{ m}^3$$

Según el cálculo realizado de nuestro diseño de biodigestor para la cooperativa coincide con la demanda calculada del generador eléctrico. La producción de biogás del biodigestor generará en promedio de 6.8 a 9.1 m³ esto significara un diseño óptimo para cooperativa cumpliendo su demanda al generador con 70% de utilización de biogás. Con un menos consumo de diésel siendo más sostenible el beneficiado húmedo, y menos contaminación al medio ambiente que rodea la planta de despulpado del sitio.

En la planta despulpadora de la cooperativa El POLO R.L. con la implementación de este sistema de un biodigestor, se obtendrán beneficios tanto, como la cooperativa como los socios caficultores que conforman la cooperativa. Representa un beneficio directo a la menor compra de combustible para alimentar el generador eléctrico que acciona el proceso de despulpado del café.

El otro beneficio, generado por el diseño del biodigestor es la obtención biol que es un biofertilizante orgánico rico en propiedades nutritivas para mejor desempeño

en producción de café para el arbusto de café. El efluente que queda de una vez generada toda la producción de biogás es un lodo que sirve como compost para tratar la tierra y enriquecerla de minerales.

Estudio De Recuperación De Inversión Del Proyecto

En la siguiente tabla se presenta los costos de inversión de construcción del digestor, las inversiones comunes son gastos diarios de trabajos de mano de obra de operación del biodigestor, esto con el fin que este en una generación constate de biogás y mantenimiento del digestor al final de cada cosecha de café.

El ahorro de capital de diésel es el cálculo realizado anteriormente donde se obtuvo un alto porcentaje de ahorro de capital lo cual esto vendría hacer un ingreso a la recuperación de inversión de la construcción del biodigestor para la cooperativa “El POLO” R.L. por lo tanto sería una recuperación en un plazo corto de años.

Otro ingreso a la construcción es la venta del biol que tiene un costo de \$3.13 dólares americanos.

Para el cálculo de recuperación de la inversión del proyecto se tomaron como parámetros la inversión de la construcción del biodigestor, los egresos por cada cosecha de operaciones y los ingresos por ahorro y venta de los biol y los siguientes cálculos de estudio financieros.

El Valor Presente Neto (VPN) es el método más conocido a la hora de evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Presente Neto permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: MAXIMIZAR la inversión. El Valor Presente Neto permite determinar si dicha inversión puede incrementar o reducir el valor de las empresas.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto

Costo de inversión	C\$	\$
Construcción del Digestor	C\$ 120,000.00	\$ 4,000.00
inversiones Comunes	C\$ 30,000.00	\$ 1,000.00
Ahorro de Capital de Diésel	C\$ 42,597.80	\$ 1,420.00
Comercialización del Biol	C\$ 18,967.80	\$ 623.26

Tabla 24. Costo total de inversiones e ingresos del proyecto

Periodo	Ingresos	Egresos	Neto	Acumulado sin Tasa de oportunidad (PB)	Flujos Netos a Vp	Acumulado con la Tasa de Oportunidad (DPB)	Tasa de Oportunidad
0		\$ 4,000.00	\$ -4,000.00	\$4,000.00	\$4,000.00	\$4,000.00	8%
1	\$2,043.26	\$ 1,000.00	\$ 1,043.26	\$2,956.74	\$965.98	\$3,034.02	
2	\$2,043.26	\$ 1,000.00	\$ 1,043.26	\$1,913.48	\$894.43	\$2,139.59	
3	\$2,043.26	\$ 1,000.00	\$ 1,043.26	\$870.22	\$828.17	\$1,311.42	
4	\$2,043.26	\$ 1,000.00	\$ 1,043.26	\$173.04	\$766.83	\$544.59	
5	\$2,043.26	\$ 1,000.00	\$ 1,043.26	\$1,216.30	\$827.79	\$283.20	
VPN				C\$1,644.76			
TIR				10% EP			
RI				8% EP			
TIRM				9% EP			
PB				3.83 Años			
DPB				4.66 Años			

Tabla 25. Recuperación de inversión del proyecto.

Conclusiones

Se determinó que la pulpa de café es capaz de producir biogás en combinación con otros residuos, en este caso se utilizó estiércol de cerdo, para una mayor obtención de biogás. También, teóricamente, se demostró que favorece a la cooperativa ya que obtendrían beneficios económicos, ya que sustituiría gran parte del consumo de diésel en el generador eléctrico mezclando biogás y diésel.

Habiendo estudiado los tipos de biodigestores y sus características se seleccionó el biodigestor tipo hindú (domo flotante), en base a los cálculos realizados se determinó que la dimensión ideal del biodigestor es de 22.78m^3 .

Se estableció un ahorro económico de aproximadamente C\$42,597.801, por cosecha en compra de combustible, que podría obtener la cooperativa al implementar el diseño del biodigestor domo flotante, siendo la cooperativa "El POLO" R.L. el principal beneficiario con la producción de biogás y sus socios caficultores con 31,860 litros de abono foliar por cosecha, destinados para abonar un aproximado de 1,593 manzanas de café; además serán beneficiados con 1,963.8kg de biosol por cosecha. Estos residuos orgánicos que generaría el biodigestor son utilizados como abono por su composición orgánica en cultivos de café como en otras especies de cultivos, representando así un ahorro económico al pequeño y mediano productor en compras de fertilizantes químicos.

Con los cálculos realizados se obtuvo que la producción de biogas del biodigestor de 22.78m^3 será de 6.8 a 9.1m^3 cumpliendo la demanda de 6.3m^3 del beneficio al día con una jornada laboral de 9 horas. Tomando en cuenta que cada año la cooperativa registra un aumento de producción de café recibida en el beneficio, se prevé que esta producción al igual que la demanda pueda crecer.

Luego de haber analizado todos los componentes contaminantes de los desechos del café se concluyó que, gracias al sistema de limpieza de agua mieles con los tanques de filtro de agua instalados en el beneficio, las aguas mieles no representan un peligro para el medio ambiente. Además con el diseño de este biodigestor la pulpa de café dejaría ser un problema como contaminante dejando de causar malos olores, produciendo moscas y virus de enfermedades perjudiciales para la salud humana ya que se sacaría el máximo provecho de ella, primeramente ocupándose como alimentador del biodigestor y luego siendo utilizada como biofertilizante. Así el beneficio de "El Polo" R.L. quedaría libre de fuentes contaminantes y esto conllevaría también a nuevas certificaciones en pro y cuidado al medio ambiente por parte de la cooperativa.

Bibliografía

- Arboleda, Y. & Gonzalez, L. O. (2009). Fundamentos para el diseño de biodigestores. Palmira, Colombia.
- Balseca de la Cadena, D. A. & Cabrera Bastidas, J.C. (2011). Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café. (Trabajo de Grado, Universidad Zamorano). Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/454/1/IAD-2011-T004.pdf>
- Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás. (12 de Abril de 2011). Catalunya.
- Duarte, A. Construcción e infraestructura de un biodigestor en filas rurales en Piribebuy. Recuperado de <http://www.ssme.gov.py/vmme/pdf/biomasa/Capacitacion%20en%20biodigestores%20VMME%20GIZ%20UNIQUE%20TUHH.pdf>
- Escenarios del impacto del clima futuro en áreas de cultivo de café en Nicaragua. (2012). Cali, Colombia y Managua, Nicaragua. CIAT. Recuperado de <http://dapa.ciat.cgiar.org/wp-content/uploads/2012/03/Informe-Nicaragua-final.pdf>
- Gon, L. (2008). Guía para proyectos de biodigestión en establecimientos agropecuarios. (Trabajo de grado, Universidad Católica de Santa Fe). Recuperado de <http://fcyt.uader.edu.ar/web/system/files/Gu%C3%ADa%20para%20proyecto%20de%20biodigesti%C3%B3n%20en%20Establecimientos%20Agropecuarios.pdf>
- Guerrero, J. (s.f.) Estudio de diagnóstico y diseño de beneficios húmedos de café. Nicaragua. IICA Nicaragua-Promerica.
- Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. (2003). Bogotá. Recuperado de http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf
- Hernandez, Borgogno, Jover, Ferrando & Salomon. (2012). Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras. SNV
- Hernandez, L. A. (1996). Tecnologías para el aprovechamiento del gas producido por la digestión anaeróbica de la materia orgánica. Colombia.
- Jimena-Montilla et al. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. Colombia. Cenicafe.

- Montaya Rendon, A. F. (2014). The constrution of a bio-digester with the use of eco-bricks for the usability of coffee residues in the municipality of Betulia-Antioquia. Colombia
- Orozco, Carmona, Botero & Hernandez. (2004). Utilizacion de biogás para uso en motores de cuatro tiempos (diésel o gasolina). Editorial Earth. Recuperado de <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/50000091.pdf>
- Ramirez Rodriguez, L. D. (2004). Generacion eléctrica por medio de biogás. Costa Rica.
- Rodriguez Cussó, R. (2012). Analisis y adaptación de motores de ciclo otto y diésel operando con biogás. UPC
- Rodriguez Valencia, N. & Jaramillo Lopez, C. (2004). Cultivos de hongos comestibles del genero pleurotus sobre residuos agrícolas de la zona cafetera. Caldas, Colombias. Cenicafe.
- Romero Loaiza, R. & Mamani Pari, R. (2013). Obtencion de biogás como fuente de energía renovable a partir de los sub productos del café. Peru.
- Samoyao, Borrayo, Perez, Morotaya & Montenegro. (2014). Extraccion de mucilago, azucares y taninos de la pulpa del café y producción de acido acético comercial a partir de las mieles de café. (Trabajo de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala) Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3706.pdf
- Varnero Moreno, M. T. (2011). Manual de Biogas. Recuperado de <http://www.minenergia.cl/biogaslechero/wp-content/uploads/2015/12/as400s.pdf>

Anexos



Figura 19. Vista de Beneficio Húmedo El Polo.



Figura 20. Maquinas Despulpadoras del Beneficio.



Figura 21. Maquinas Despulpadoras.



Figura 22. Criba.



Figura 23. Canales de transporte de café.



Figura 24. Pilas de Fermentación de Café.



Figura 25. Almacén de pulpa de café, cosecha Nov-Ene.



Figura 26. Colochos Transportadores de Pulpa.



Figura 27. Pilas Almacenadora de Aguas Mieles.



Figura 28. Bomba Sumergible.



Figura 29. Planta Generadora del Beneficio El Polo.



Figura 30. Tanques de Filtración de Agua.



Figura 31. Área de Lavado.



Figura 32. Biodigestor de Finca Veracruz.



Figura 33. Biodigestor de Finca El Volcán.



Figura 34. Tanque de Agua Miel, Finca El Volcán.



Figura 35. Beneficio Cisa Carazo.



Figura 36. Maquinas despulpadoras y Criba, Beneficio CISA Carazo.



Figura 37. Planta generadora que trabaja a base de diésel-biogás, CISA Carazo.



Figura 38. Vista de Reactores, CISA Carazo.



Figura 39. Pilas de Fermentación, CISA Carazo.



Figura 40. Pilas de Fermentación, CISA Carazo.



Figura 41. Motor 7 1/2 HP para maquinas despulpadoras



Figura 42. Motor 2 HP para colocchos



Figura 43. Motor 1 HP para criba

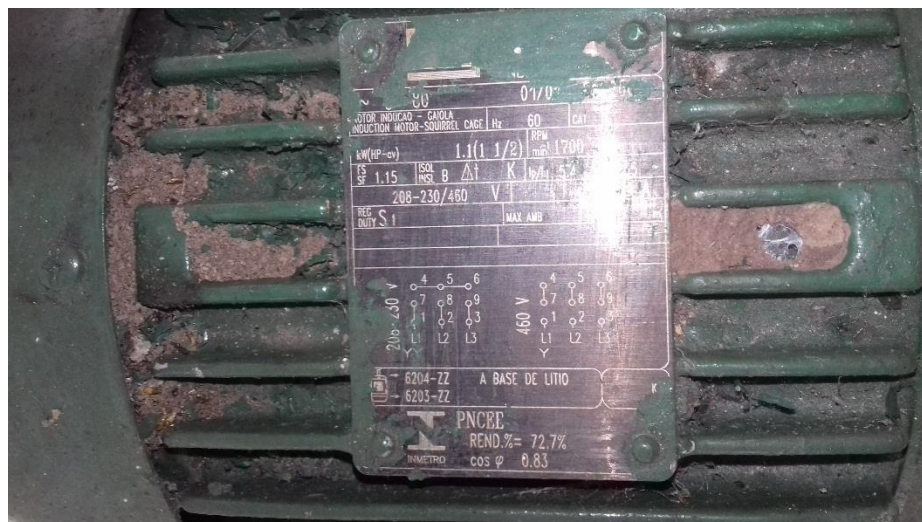


Figura 44. Motor 1 1/2 HP para lavado de café



Figura 45. Bomba sumergible 3HP

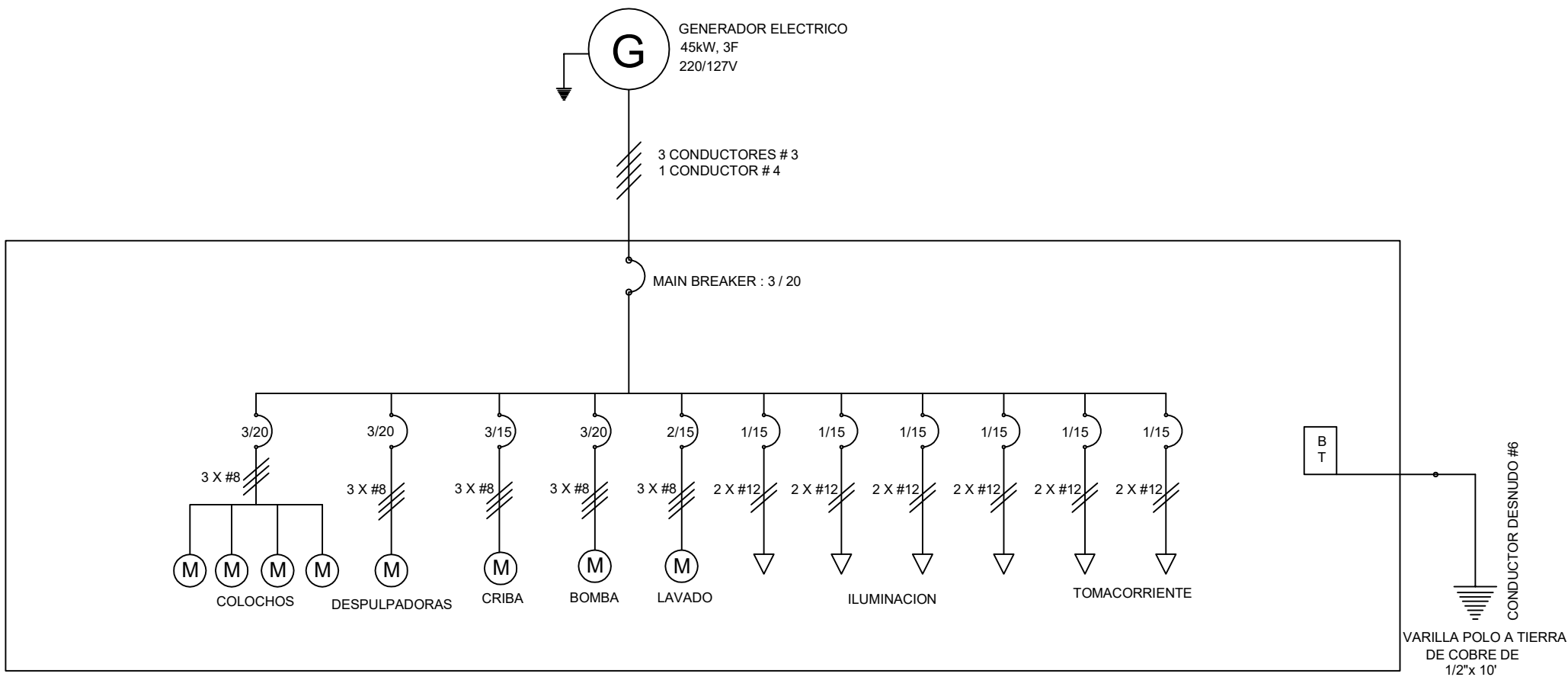


DIAGRAMA UNIFILAR